



TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA



**Generalitat
de Catalunya**



**Institut
d'Estudis
Catalans**

TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA

Barcelona, 2016



**Generalitat
de Catalunya**



**Institut
d'Estudis
Catalans**

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

Referències bibliogràfiques

ISBN 9788499653174 (IEC). – ISBN 9788439394488 (Generalitat de Catalunya)

I. Catalunya. Generalitat II. Institut d'Estudis Catalans

1. Canvis climàtics – Catalunya 2. Gestió ambiental – Catalunya

551.583(460.23)

502.13(460.23)

L'edició d'aquesta publicació ha estat possible gràcies a la col·laboració de la Fundació Bancària "la Caixa"

© 2016, els autors

© 2016 d'aquesta edició:
Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya

Primera edició: setembre de 2016

Institut d'Estudis Catalans
ISBN: 978-84-9965-317-4

Generalitat de Catalunya
ISBN: 978-84-393-9448-8

DL: B 18328-2016

Tiratge: 500 exemplars

Text revisat lingüísticament pel Servei de Correcció Lingüística de l'Institut d'Estudis Catalans

Disseny gràfic i producció editorial:
Entitat Autònoma del Diari Oficial i de Publicacions



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de Creative Commons «Reconeixement-No Comercial»: es pot redistribuir, copiar i reutilitzar, sempre que se'n reconegui l'autoria i no hi hagi afany de lucre. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/es/legalcode.ca>.

Índex general

Presentació	11
Introducció	13
Direcció i coordinació / Especialistes	15

1a PART Bases científiques del canvi climàtic

1 El balanç global de carboni i els escenaris d'estabilització del canvi climàtic	21
Síntesi.....	23
1.1. Introducció: un repte planetari per a un món sostenible.....	24
1.2. La pertorbació humana del sistema climàtic.....	25
1.3. El balanç històric i contemporani entre fonts i embornals de CO ₂	30
1.4. El repte de la mitigació per a estabilitzar el sistema climàtic.....	31
1.5. Un repte sense precedents.....	38
1.6. Conclusions.....	41
1.7. Recomanacions.....	41
Referències bibliogràfiques.....	42
2 Balanç de carboni: emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya	45
Síntesi.....	47
2.1. Introducció.....	48
2.2. Emissions mundials, de la UE i d'Espanya.....	48
2.3. Evolució de les emissions a Catalunya: 1990-2013.....	53
2.4. Compliment del Protocol de Kyoto: 2008-2012.....	59
2.5. COP21 - l'Acord de París 2015: INDC.....	61
2.6. Conclusions.....	62
2.7. Recomanacions.....	62
Referències bibliogràfiques.....	62

3	Balanç de carboni: els embornals a Catalunya	65
	Síntesi.....	69
	3.1. Introducció.....	70
	3.2. Sistemes terrestres.....	70
	3.3. Aigües continentals.....	83
	3.4. Sistemes marins.....	84
	3.5. Conclusions.....	86
	3.6. Recomanacions.....	87
	Referències bibliogràfiques.....	88
4	Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya	93
	Síntesi.....	96
	4.1. Introducció.....	97
	4.2. El context climàtic de Catalunya: la complexitat geogràfica i la varietat climàtica del país.....	97
	4.3. Canvis en la temperatura.....	98
	4.4. Canvis en la precipitació.....	101
	4.5. Canvis en altres variables atmosfèriques.....	104
	4.6. Canvis en els extrems climàtics.....	104
	4.7. Canvis en la temperatura i el nivell de les aigües costaneres.....	105
	4.8. Les glaceres i la neu al Pirineu.....	107
	4.9. Conclusions.....	109
	4.10. Recomanacions.....	110
	Referències bibliogràfiques.....	110
5	Projeccions climàtiques i escenaris de futur	113
	Síntesi.....	116
	5.1. Introducció.....	117
	5.2. Projectes recents sobre projeccions climàtiques.....	118
	5.3. Projeccions climàtiques a Catalunya.....	121
	5.4. Conclusions.....	130
	5.5. Recomanacions.....	131
	Referències bibliogràfiques.....	131

2a PART

Sistemes naturals: impactes, vulnerabilitat i adaptació

6	Riscos d'origen climàtic	137
	Síntesi.....	140
	6.1. Introducció.....	141
	6.2. Estimació de l'impacte del canvi climàtic en els riscos meteorològics a Catalunya..	141
	6.3. Riscos socionaturals.....	146
	6.4. Riscos geològics.....	150
	6.5. Conclusions.....	154
	6.6. Recomanacions.....	156
	Referències bibliogràfiques.....	157

7	Recursos hidrològics	161
	Síntesi.....	164
	7.1. Introducció.....	165
	7.2. Estimació dels efectes del canvi global en els recursos hídrics.....	166
	7.3. Relació entre recursos hídrics i demanda d'aigua a Catalunya en el marc del canvi global.....	170
	7.4. Efectes del canvi en els components hidrològics i els recursos hídrics al segle XXI..	171
	7.5. Conclusions.....	182
	7.6. Recomanacions.....	183
	Referències bibliogràfiques.....	185
8	Sistemes costaners i dinàmica litoral	189
	Síntesi.....	191
	8.1. Introducció.....	192
	8.2. Sistemes costaners i dinàmica litoral.....	192
	8.3. Conclusions.....	207
	8.4. Recomanacions.....	208
	Referències bibliogràfiques.....	209
9	Ecosistemes terrestres	211
	Síntesi.....	213
	9.1. Introducció.....	215
	9.2. Respostes a escala molecular i en l'ús dels elements. Genètica, epigenètica, metabolòmica i estequiometria.....	215
	9.3. Respostes dels organismes.....	216
	9.4. Canvis en poblacions i comunitats.....	219
	9.5. Ecosistemes, biogeoquímica i funcionament.....	223
	9.6. Què podem aprendre dels canvis climàtics del passat i dels efectes que han tingut en els boscos de Catalunya?.....	228
	9.7. Impacte del canvi climàtic sobre els nostres ecosistemes terrestres previst per als pròxims decennis. Simulacions amb GOTILWA+.....	230
	9.8. Retroalimentacions biològiques en el canvi climàtic.....	231
	9.9. Conclusions.....	232
	9.10. Recomanacions.....	232
	Referències bibliogràfiques.....	234
10	Ecosistemes aquàtics continentals	237
	Síntesi.....	241
	10.1. Introducció.....	242
	10.2. Efectes del canvi climàtic en la dinàmica hídrica i el comportament biogeoquímic dels sistemes.....	242
	10.3. Efectes del canvi climàtic en la biodiversitat.....	244
	10.4. Efectes del canvi climàtic en el funcionament dels ecosistemes.....	246
	10.5. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes fluvials.....	248
	10.6. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes lacustres.....	250
	10.7. Sospites i evidències del canvi climàtic a les llacunes i les aigües temporànies.....	254
	10.8. Possibles sinergies del canvi climàtic amb altres impactes antròpics.....	256
	10.9. Conclusions.....	258
	10.10. Recomanacions.....	258
	Referències bibliogràfiques.....	259

11	Ecosistemes marins i costaners	263
	Síntesi.....	265
	11.1. Introducció.....	266
	11.2. Síntesi de l'evolució de variables fisicoquímiques de les aigües marines.....	266
	11.3. Vulnerabilitat de comunitats mediterrànies d'elevada biodiversitat.....	269
	11.4. Canvis en relació amb l'espècie.....	272
	11.5. Fenòmens amb impacte socioeconòmic directe.....	276
	11.6. Biodiversitat.....	278
	11.7. Serveis ecosistèmics.....	280
	11.8. Conclusions.....	282
	11.9. Recomanacions.....	283
	Referències bibliogràfiques.....	284
12	Sòls	291
	Síntesi.....	293
	12.1. Introducció.....	294
	12.2. Processos edàfics influenciats pel canvi climàtic.....	294
	12.3. Processos que incideixen en el canvi climàtic. Emissions de GEH a partir del sòl ..	299
	12.4. Indicadors de canvis del reservori de carboni.....	300
	12.5. Implementació de les mesures mitigadores del canvi climàtic.....	305
	12.6. Conclusions.....	308
	12.7. Recomanacions.....	308
	Referències bibliogràfiques.....	310

3a PART

Sistemes humans: impactes, vulnerabilitat, adaptació i mitigació

13	Sistemes agroalimentaris: agricultura, ramaderia i pesca	315
	Síntesi.....	318
	13.1. Introducció.....	319
	13.2. L'agricultura.....	319
	13.3. La ramaderia.....	323
	13.4. La pesca costanera.....	325
	13.5. La indústria agroalimentària.....	327
	13.6. L'aigua.....	328
	13.7. Conclusions.....	332
	13.8. Recomanacions.....	333
	Referències bibliogràfiques.....	334
14	Energia	337
	Síntesi.....	339
	14.1. Introducció.....	340
	14.2. Evolució del consum d'energia a Catalunya.....	341
	14.3. Evolució de les emissions de GEH en el processament de l'energia.....	343
	14.4. Accions correctores vigents.....	348
	14.5. Vers una energia neta.....	352
	14.6. Conclusions.....	358
	14.7. Recomanacions.....	359
	Referències bibliogràfiques.....	360

15	Indústria	363
	Síntesi.....	365
	15.1. Introducció.....	366
	15.2. Context.....	366
	15.3. Inventari d'emissions.....	368
	15.4. Mesures de mitigació.....	370
	15.5. Canvi climàtic i gestió de riscos a la indústria.....	375
	15.6. Conclusions.....	378
	15.7. Recomanacions.....	379
	Referències bibliogràfiques.....	381
16	Turisme	383
	Síntesi.....	386
	16.1. Introducció.....	387
	16.2. Impactes dels escenaris climàtics de futur sobre el sector turístic a Catalunya.....	388
	16.3. Evolució en l'aplicació d'estratègies d'adaptació.....	396
	16.4. Evolució en l'aplicació d'estratègies de mitigació a Catalunya.....	400
	16.5. Conclusions.....	403
	16.6. Recomanacions.....	404
	Referències bibliogràfiques.....	405
17	Residus i recursos	409
	Síntesi.....	412
	17.1. Introducció.....	413
	17.2. Els residus i els recursos.....	413
	17.3. El bioestabilitzat.....	416
	17.4. Els factors locals d'emissions en plantes de valorització de FORM a Catalunya.....	417
	17.5. El mapa comarcal d'emissions en el sistema de gestió de residus.....	420
	17.6. L'estalvi d'emissions en el reciclatge.....	422
	17.7. El cicle urbà de l'aigua: aigua potable i aigua residual.....	426
	17.8. Conclusions.....	429
	17.9. Recomanacions.....	431
	Referències bibliogràfiques.....	432
18	Salut	437
	Síntesi.....	441
	18.1. Introducció.....	442
	18.2. Fenòmens extrems.....	442
	18.3. Contaminació de l'aire.....	447
	18.4. Malalties transmeses per vectors.....	452
	18.5. Altres possibles efectes del canvi climàtic en la salut.....	454
	18.6. Vulnerabilitats.....	454
	18.7. Estratègia d'adaptació: el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut.....	456
	18.8. Estratègies de mitigació amb cobeneficis per a la salut.....	458
	18.9. Conclusions.....	459
	18.10. Recomanacions.....	460
	Referències bibliogràfiques.....	461

19	Transport, mobilitat i logística	465
	Síntesi	467
	19.1. Introducció	468
	19.2. Relació del transport, la mobilitat i la logística amb les emissions de GEH del transport: les palanques de maniobra en la gestió.....	468
	19.3. Iniciatives de regulació dels sectors productors d'emissions	471
	19.4. El transport i el canvi climàtic a Catalunya.....	472
	19.5. Conclusions.....	478
	19.6. Recomanacions	479
	Referències bibliogràfiques.....	480
20	Territori i espai urbà	481
	Síntesi	483
	20.1. Introducció	484
	20.2. Territori: una nova aproximació	484
	20.3. Espai urbà: una nova aproximació	490
	20.4. Conclusions.....	502
	20.5. Recomanacions	503
	Referències bibliogràfiques.....	504
21	La interacció entre els sistemes naturals i els humans en les àrees més vulnerables al canvi climàtic: sistemes muntanyosos	507
	Síntesi.....	510
	21.1. Introducció	511
	21.2. Les muntanyes en un context europeu	511
	21.3. La vulnerabilitat de la muntanya entesa com un sistema socioecològic complex.....	513
	21.4. Escenaris de futur per a les muntanyes.....	522
	21.5. Conclusions.....	526
	21.6. Recomanacions	526
	Referències bibliogràfiques	527

4a PART

Governança i gestió del canvi climàtic

22	Polítiques i instruments per a la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic	533
	Síntesi.....	536
	22.1. Introducció	537
	22.2. Les polítiques de l'ONU.....	537
	22.3. Les polítiques europees i estatals	541
	22.4. Les polítiques i els instruments catalans	543
	22.5. Les polítiques i els instruments locals	544
	22.6. El mercat d'emissions.....	547
	22.7. Conclusions.....	553
	22.8. Recomanacions	554
	Referències bibliogràfiques	555

23	Percepció i comunicació del coneixement sobre el canvi climàtic a Catalunya	557
	Síntesi.....	559
	23.1. Introducció.....	560
	23.2. Tendències recents en l'opinió i la comunicació públiques del canvi climàtic	560
	23.3. Comunicació, ús i emmarcament del coneixement sobre el canvi climàtic: el cas del Cinquè informe d'avaluació de l'IPCC.....	566
	23.4. Conclusions.....	573
	23.5. Recomanacions	574
	Referències bibliogràfiques.....	576
24	La recerca sobre el canvi climàtic	579
	Síntesi.....	581
	24.1. Introducció.....	582
	24.2. La recerca sobre el canvi climàtic: temes que s'hi inclouen	582
	24.3. Centres i grups que fan recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya.....	582
	24.4. Projectes	587
	24.5. Finançament de les administracions	588
	24.6. Captació de talent	589
	24.7. Resultats.....	590
	24.8. Innovació i transferència de coneixement i tecnologia	592
	24.9. Biblioteques universitàries i divulgació científica de la recerca en canvi climàtic	592
	24.10. Conclusions.....	593
	24.11. Recomanacions	593

Epíleg jurídic

EPÍLEG JURÍDIC: De Kyoto a París (COP21). Escenaris i reptes futurs en les polítiques internacionals de canvi climàtic	597
Síntesi.....	600
25.1. Introducció.....	601
25.2. Els antecedents de l'Acord de París	601
Referències bibliogràfiques.....	612

Sigles i acrònims

Sigles i acrònims	615
--------------------------------	-----

Presentació

Carles Puigdemont

President de la Generalitat de Catalunya

El mes de desembre de 2015, la comunitat internacional reunida a París va assolir un acord que crea un sistema de governança climàtica global i estableix els instruments per a afavorir la lluita contra el canvi climàtic des de tots els àmbits de la societat. Tot i els múltiples reptes que se'n deriven i la feina que encara resta per fer, l'acord és un pas endavant. Un dels compromisos més destacables d'aquest acord és l'objectiu compartit de treballar per aconseguir que la temperatura mitjana global del planeta no superi en 2 °C la que tenia abans de la revolució industrial.

El mateix acord, però, es planteja anar més enllà i inclou l'aspiració de reduir aquest objectiu fins a 1,5 °C, davant l'evidència del ritme en què es produeix el canvi climàtic a escala global i la magnitud dels seus efectes en el medi, en l'economia i en la societat, alguns dels quals ja són patents. De fet, com reconeix el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC), l'escalfament del sistema climàtic és inequívoc.

Deixeu-me que ho remarqui utilitzant tres dades que la ciència ens ha posat a l'abast. En primer lloc, dels disset anys més càlids de la història, setze han estat posteriors a l'any 2000 (aquí cal incloure el primer semestre del 2016). D'altra banda, i per primera vegada a la història, l'any 2015 la

temperatura mitjana global del planeta va superar en 1 °C la que hi havia en l'època preindustrial. Finalment, i per primera vegada en vuit-cents mil anys, la concentració de CO₂ a l'atmosfera va sobrepassar la concentració permanent de 400 parts per milió. Els efectes d'aquest escalfament són nombrosos i condicionaran d'una manera clara el nostre futur col·lectiu.

Catalunya no és aliena al canvi climàtic i els seus efectes. Les projeccions apunten a un augment de temperatura en els propers decennis i també a una lleugera disminució de la precipitació, que seria més marcada cap a mitjan segle, amb un increment de la probabilitat de pluges més intenses i un increment del nombre i la durada de les sequeres. La temperatura mitjana anual de l'aire s'ha incrementat en 0,23 °C per decenni per al conjunt de Catalunya i per al període 1950-2014. Aquesta xifra és lleugerament superior a la que es desprèn del que succeeix a escala global. Pel que fa a la mar catalana, s'escalfa a una velocitat de 0,3 °C per decenni i, alhora, el nivell de la mar augmenta gairebé en 4 cm per decenni, amb conseqüències importants per al litoral i els ecosistemes marins. Per tot això, es poden preveure conseqüències per a la salut de la població, la producció alimentària i el futur dels boscos catalans, entre altres.

Com també apunta el mateix IPCC, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle produïdes per les activitats humanes són responsables d'aquest increment de temperatura des de mitjan segle XX. Per això cal envigorir els esforços per a avançar, a totes les escales territorials, en la descarbonització de l'economia i en la construcció d'una societat més justa i equilibrada. El repte, com el lector compartirà, és tant majúscul com necessari i urgent.

A Catalunya, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle han experimentat una reducció des del pic que es va assolir l'any 2005, en bona part a causa d'una profunda crisi econòmica que va afectar alguns dels principals focus emissors, com ara el transport, la indústria i la generació d'energia.

Més enllà dels efectes de la crisi pel que fa a la reducció d'emissions —que hi han estat i hi són—, cal destacar també l'ampli corpus de planificació i de mesures que s'han dut a terme dins el conjunt de l'Administració catalana, així com el conjunt d'iniciatives que s'impulsen en diversos sectors, tant en l'àmbit privat com en el social, sigui per a reduir les emissions sigui per a promoure'n l'adaptació als impactes del canvi climàtic. En l'acció del Govern de la Generalitat de Catalunya, l'exemple més recent és el Projecte de llei del canvi climàtic a Catalunya, el primer que va aprovar el Govern que presideixo després de la presa de possessió, i que en el moment d'escriure aquest pròleg es troba en fase de tramitació parlamentària.

La presa de decisions requereix informació rellevant i de qualitat, i també el diàleg i el treball

conjunt entre científics i decisors públics i privats. El TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC DE CATALUNYA pretén ser una eina útil per a avançar en aquests dos aspectes. Impulsat pel Govern i l'Institut d'Estudis Catalans, i amb la participació, en aquesta edició, de més de cent noranta científics i tècnics com a autors i revisors, l'INFORME té per objectiu analitzar l'estat i l'evolució recent i futura del clima a Catalunya d'acord amb les bases científiques, així com la contribució dels sistemes naturals i humans al canvi climàtic i els efectes d'aquest fenomen en ambdós tipus de sistema.

El TICCC és, tot i l'impuls públic, un informe independent des del punt de vista científic que ens ha d'ajudar a prendre decisions futures en els diversos àmbits de competència del Govern. Per això valoro molt positivament no solament disposar de la diagnosi que aporten els diversos autors, sinó també de totes les recomanacions que proposen en els capítols respectius i que ens comprometem a analitzar amb molta atenció i a traslladar tant com sigui possible a actuacions concretes que permetin reduir la nostra contribució al canvi climàtic i adaptar-nos millor als seus impactes.

M'agradaria dedicar un darrer paràgraf a totes les persones que han treballat en aquesta obra, conscients de la transcendència del canvi climàtic i compromeses amb el nostre país. La seva dedicació ha permès, per tercera vegada en onze anys, disposar d'un informe de referència que continua mantenint el caràcter pioner amb què va néixer l'any 2005. A tots ells, i amb la confiança que el seu esforç serà útil per a Catalunya, moltes gràcies.

Introducció

Javier Martín-Vide

Coordinador del TICCC i del GECCC

El TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA (TICCC) té per objectiu analitzar l'estat i l'evolució recent i futura del clima a Catalunya, tant des del punt de vista de les bases físiques com amb relació als diversos sistemes naturals i humans. Es tracta de presentar una diagnosi clara amb les accions clau de la mitigació i l'adaptació ben presents. El TICCC comporta l'ampliació i l'actualització dels objectius dels dos informes precedents sobre el canvi climàtic a Catalunya, del 2005 i del 2010, en un escenari global més complex i canviant. D'aquesta manera, Catalunya continua formant part del grup de regions europees capdavanter quant a l'elaboració d'avaluacions científiques periòdiques sobre el canvi climàtic.

Les característiques que, des de la coordinació del Grup d'Experts del Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC), hem volgut que tingués el TICCC han estat les següents: exhaustivitat quant al ventall de temes tractats, distribuïts en vint-i-quatre capítols i un epíleg; síntesi i homogeneïtat quant a la forma, a fi de facilitar-ne la consulta; inclusió quant als autors, procedents d'àmbits acadèmics i professionals molt variats; integració quant a les institucions implicades, amb la participació de diversos ens de la Generalitat de Catalunya i de l'Institut d'Estudis Catalans; utilitat i servei al país, amb recomanacions concretes en cada capítol, i independència.

El TICCC és un document científic que conté textos originals dels millors experts de casa nostra en els diferents vessants del canvi climàtic. Han estat prop de cent cinquanta autors, tots ells professors, investigadors —un bon grapat dels quals pertanyents al GECCC— i especialistes reconeguts professionalment o per la tasca tècnica duta a terme dins l'Administració. En aquest sentit, el TICCC reflecteix d'una manera força fidel el calidoscopi d'aspectes i d'interessos de la problemàtica del canvi climàtic. Tots els capítols han passat pel filtre de l'avaluació d'experts, un requisit establert en ciència per a validar la qualitat d'un article científic. No obstant això, s'han defugit expressament les formes acadèmiques més rígides per tal de donar l'agilitat i la potencialitat de difusió necessàries als continguts.

En clau de ciència, el TICCC vol esdevenir coneixement organitzat —que diria Herbert Spencer— i, alhora, pretén fer palès que no hi ha ni un sol tema científic que no es pugui explicar d'una manera popular —que diria Carl Sagan. Cal rigor científic i una certa versatilitat perquè pugui arribar directament als nostres conciutadans i, sobretot, perquè sigui útil als qui tenen les responsabilitats màximes en la gestió i la planificació del territori i de les activitats econòmiques. En aquest sentit, creiem que el TICCC és una eina imprescindible per a

guiar l'ordenació territorial i la gestió en els diferents àmbits sectorials de Catalunya d'una manera sostenible mediambientalment. Aquestes accions són, sens dubte i en resum, les més importants i eficients econòmicament per a disminuir els riscos inherents al canvi climàtic.

Com és ben sabut, Catalunya no pot ser un territori desconnectat dels altres països i regions en la problemàtica del canvi climàtic, especialment de la península Ibèrica i de la conca de la Mediterrània occidental. Per això, el TICCC comença amb el balanç global de carboni i acaba amb els resultats de l'Acord de París de la COP21, d'abast planetari. Amb només un 0,1 % de la població mundial, des de Catalunya no resoldrem el problema del canvi climàtic; però amb el nostre coneixement i les polítiques i les accions adients, integrades en els àmbits polítics espanyol i europeu, hem de contribuir a la consecució del repte global de no ultrapassar el llindar dels 2 °C d'increment de la temperatura respecte a la de l'època preindustrial i, preferiblement, de no ultrapassar els 1,5 °C. I —afegim— això ho hem de fer, també, per un imperatiu ètic de solidaritat planetària.

El cos central del TICCC s'estructura en quatre parts: 1) les bases científiques del canvi climàtic; 2) els sistemes naturals (impactes, vulnerabilitat i adaptació); 3) els sistemes humans (impactes, vulnerabilitat, adaptació i mitigació), i 4) la governança i la gestió del canvi climàtic. En els diversos capítols es tracten els temes següents: el balanç de carboni a Catalunya; l'evolució recent de les variables climàtiques; les projeccions climàtiques; els riscos climàtics; els recursos hidrològics; els sistemes costaners; els ecosistemes terrestres; els ecosistemes aquàtics continentals; els ecosistemes marins i costaners; els sòls; els sistemes agroalimentaris; l'energia; la indústria; el turisme;

els residus i els recursos; la salut; el transport; el territori i l'espai urbà; la muntanya com a sistema; les polítiques i els instruments per a la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic; la percepció, la comunicació i la implicació cívica, i la recerca sobre el canvi climàtic.

El TICCC, partint de l'estat actual i del passat recent, dibuixa l'evolució del clima futur i de la incidència en els diferents sistemes naturals i humans de Catalunya, per tal d'estar més preparats com a societat per als nous escenaris ambientals i antròpics, disminuir-ne els riscos i aprofitar les noves oportunitats. Per mitjà d'aquest compromís amb la societat i un esperit positiu, malgrat les tendències clares cap a l'escalfament i les incerteses de tota mena, heus aquí la contribució d'un grup nombrós i selecte de científics i tècnics, als quals agraim de tot cor el coneixement aportat.

D'altra banda, el TICCC no s'hauria pogut enllestir sense la labor d'un equip de coordinació i direcció que ha treballat amb els nivells d'exigència més alts, els membres del qual pertanyen a l'Administració catalana: el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS), les persones de l'equip tècnic del qual, guiades pel director, Arnau Queralt, han portat a terme una tasca *ad hoc* impagable; l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, i el Servei Meteorològic de Catalunya. Amb altres mitjans necessaris, també han contribuït a la publicació i a la difusió del TICCC forces econòmiques compromeses en el desenvolupament i la millora social i ambiental. Cal agrair d'una manera molt especial el suport econòmic decisiu de la Fundació Bancària "la Caixa", l'aportació de la qual ha permès fer possible l'edició i la difusió d'aquest llibre i del resum executiu, així com la col·laboració dels Cellers Torres. Gràcies a tothom.

Direcció i coordinació

COMITÈ DE DIRECCIÓ

Javier Martín-Vide
Coordinador científic del TERCER INFORME SOBRE
EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA (TICCC)
i del Grup d'Experts en Canvi Climàtic
de Catalunya

Oriol Puig i Godes
Director del Servei Meteorològic de Catalunya

Arnau Queralt i Bassa
Director del Consell Assessor per al
Desenvolupament Sostenible de Catalunya

Joandomènec Ros i Aragonès
President de l'Institut d'Estudis Catalans

Salvador Samitier i Martí
Cap de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic

SECRETARIA TÈCNICA

*Consell Assessor per al Desenvolupament
Sostenible:*

Fina Ambatlle i Espuñes
Raquel Ballesteros Arenas
Sílvia Cañellas Boltà
Mercè Garcia Botet
Meritxell Rota i Claret

Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya:
Rosa Maria Bosch i Casadevall

Institut d'Estudis Catalans:
Rosa Franquesa i Bonet

Oficina Catalana del Canvi Climàtic:
Gabriel Borràs Calvo
Iñaki Gili Jáuregui

Servei Meteorològic de Catalunya:
Marc Prohom i Duran

Especialistes

AUTORIA

Ander Achotegui-Castells
Vicenç Acuña Salazar
Jennifer Albrand
Josep M. Alcañiz Baldellou
Vicent Altava Ortiz
Dolores Asensio Abella
José M. Baldasano Recio
Júlia Barba Miralpeix
Adrià Barbeta Margarit
Antoni Barrera Escoda
Mireia Bartrons Vilamala
Xavier Basagaña Flores
Meritxell Batalla Mercadé
Ramon J. Batalla Villanueva
Jaume Boixadera i Llobet
Carles Borrego More
Montserrat Busto Navines
Andrea Butturini
Àngels Cabello Gómez
Nuno Caiola
Josep Calbó Angrill
Eva Calvo Costa
Marta Camino
Jordi Camins Just
Mar Campins Eritja
Josep Canadell Gili
Jofre Carnicer Cols
Jordi Catalan Aguilà
Bernat Claramunt López
Jordi Corominas Dulcet
Jordi Cunillera Graño
Francisco Doblas-Reyes
Marc Estiarte Garrofé
Miquel Estrada Romeu
Gerard Farré-Armengol
Ramon Farreny Gaya

Marisol Felip i Benach
Maria Teresa Felipó Oriol
Àlvar Feliu Jofre
Marcos Fernández-Martínez
Iolanda Filella Cubells
Xavier Font Segura
Rosa Maria Fraguell Sansbelló
Inmaculada Funes Mesa
Xavier Gabarrell Durany
Francesc Gallart Gallego
Emili García-Berthou
Manel García-León
Carles García Sellés
Javier García-Serrano
Albert Gargallo-Garriga
Josep Garriga Sala
Ramon Garriga Saperas
Stéphanie Gascón Garcia
Joan Girona Gomis
M. Belén Gómez Martín
María Gonçalves Ageitos
Carles Gracia Alonso
Vicente Gracia Garcia
Oriol Grau Fernández
Virginie Guemas
Jaume Josa i Pons
Daijun Liu
Lei Liu
Maria del Carme Llasat Botija
Pilar Llorens Garcia
Jaume Lloveras Vilamanyà
Rosa Llurba Huguet
Joan Carles Llurdés Coit
Joan Llusà Benet
Feliu López i Gelats
Rafael Marcé Romero
Olga Margalef Marrassé
Carolina Martí Llambrich
Eugènia Martí Roca
Javier Martín-Vide
Carles Martínez Gasol
Èrica Martínez Solanas
Josep Mas-Pla
Xavier Mayor Farguell
Margarita Menéndez López
Clara Montaner Augé
César Mösso Aranda
Isabel Muñoz Gracia
Daniel Nadal Sala
Juan Emilio Nieto Moreno
Romà Ogaya Inurrigarro
Josep Oriol Ortiz i Perpiñà
Krijn Paaijmans
Josep Pascual Massaguer
Diana Pascual Sánchez
Guille Peguero Gutiérrez
Carles Pelejero Bou
Josep Peñuelas Reixach
Eduard Pla Ferrer
Sergi Pla Rabes
Josefina Plaixats Boixadera
Rosa M. Poch Claret
Isabel Pont i Castejón
Megan Popkin
Laurent Pouget
Catherine Preece
Marc Prohom Duran
Xavier Quintana Pou
Pere Quintana Seguí
Javier Retana Alumbrosos
Anna Ribas Palom
Laura Rico Cabanas
Joan Rieradevall Pons
Albert Rivas-Ubach
Marta G. Rivera Ferre
Francesc Robusté Anton
Ismael Romeo Garcia
Joandomènec Ros i Aragonès
Lluís Rovira i Pato
Santi Sabaté Jorba
Francesc Sabater Comas
Sergi Sabater Cortés
Agustín Sánchez-Arcilla
Anabel Sánchez Plaza
Jordi Sardans Galobart
David Saurí Pujol
Robert Savé Montserrat
Maria Teresa Sebastià Álvarez

Josep Maria Serena Sender
 Joan Pau Sierra Pedrico
 Rafel Simó Martorell
 Dominik Sperlich
 Constantí Stefanescu
 Maria Eugenia Suárez Ojeda
 Jordi Sunyer Deu
 Joan David Tàbara Villalba
 Melodia Tamayo Moreno
 Montserrat Termes Rifé
 Jaume Terradas Serra
 Marco Turco
 Andreu Ubach
 Ifigenia Urbina
 Jordi Vayreda Duran
 Irma Ventayol i Ceferino
 Aleixandre Verger Ten
 Laura Vergonyós Pascual
 Gara Villalba Méndez
 Maria Vives Ingla
 Chris Wheat
 Chao Zhang

REVISIÓ CIENTIFICOTÈCNICA

Ferran Ballester Díez
 Enric Ballesteros Sagarra
 Ileana Bladé Mendoza
 Denis Boglio
 Manola Brunet India
 Pere Casals Tortras
 Jordi Catalan Aguilà
 Josep Dolz Ripollés
 Xavier Domene Casadesús
 Xavier Duran Escriba
 Arturo Elozegi Iruztia
 Marta Estrada Miyares
 Jaume Font Garolera
 Félix Francés García
 Miquel Gayà Porcel
 Iñaki Gili Jáuregui
 Damià Gomis Bosch
 Miquel Grimalt Gelabert
 Carles Ibáñez Martí
 Lluís Inglada Renau

Agustí Jansà Clar
 Josep Enric Llebot Rabagliati
 Gisela Loran Benavent
 Emilio Martínez Ibarra
 Mariano Marzo Carpio
 Carme Miralles Guasch
 Marc Montlleó Balsebre
 Ramon Moreno Amich
 Rafael Mujeriego Sahuquillo
 Jorge Olcina Canto
 Valerià Paül Carril
 Enric Pol Urrutia
 Jaume Porta Casanellas
 Narcís Prat Fornells
 Ignasi Puig Ventosa
 Ana Romero Càlix
 Romualdo Romero March
 Pep Salas Prat
 Josep Lluís Salazar Mániz
 Juan Sánchez Díaz
 David Serrat Congost
 Joan Manuel Soriano López
 Aurelio Tobías Garcés
 Patrizia Ziveri

ASSESSORAMENT LINGÜÍSTIC I CORRECCIÓ

*Servei de Correcció Lingüística de l'Institut
d'Estudis Catalans:*

Josep M. Mestres i Serra, cap del Servei
 Kàtia Oliver Vila
 Anna de Pablo Puig
 Anna Serra Zamora

EDICIÓ

*Entitat Autònoma del Diari Oficial
i de Publicacions de la Generalitat de Catalunya:*

Raimon Alamany i Sesé, subdirector general
de Publicacions
 Lluís Prat i Francisco, cap de l'Àrea de Producció
i Serveis Editorials
 Josep M. Carmona Vallejos
 Vicenç Petit Garcia
 Marc Sacases Guardia

1a PART

Bases científiques del canvi climàtic



1 El balanç global de carboni i els escenaris d'estabilització del canvi climàtic

Autor

Josep Canadell Gili

Josep Canadell Gili és doctor en ecologia terrestre per la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment és director executiu del Global Carbon Project i investigador principal de l'Organització per a la Recerca Industrial i Científica de la Commonwealth (CSIRO, Austràlia), i prèviament va desenvolupar la recerca a les universitats nord-americanes de Stanford, Berkeley i San Diego. L'àrea de recerca és la pertorbació humana del cicle global de carboni i els efectes que té en el sistema climàtic, incloent-hi com-

ponents terrestres, marins, atmosfèrics i socioeconòmics. També treballa en les opcions de mitigació existents per a estabilitzar el sistema climàtic, particularment a escenaris d'escalfament global baixos. És un dels autors principals del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) i ha publicat extensivament en revistes científiques. El 2015 va ser reconegut com un dels autors més citats mundialment en publicacions del canvi climàtic.

Sumari

Síntesi	23
1.1. Introducció: un repte planetari per a un món sostenible	24
1.2. La pertorbació humana del sistema climàtic	25
1.2.1. Emissions globals de gasos amb efecte d'hivernacle (CO ₂ , CH ₄ i N ₂ O) ..	25
1.2.2. Forçament radiatiu del carboni i d'altres components d'origen humà	28
1.3. El balanç històric i contemporani entre fonts i embornals de CO ₂	30
1.4. El repte de la mitigació per a estabilitzar el sistema climàtic	31
1.4.1. Balanços de carboni per a estabilitzar el sistema climàtic	32
1.4.2. Trajectòries congruents amb els balanços de carboni	35
1.5. Un repte sense precedents	38
1.6. Conclusions	41
1.7. Recomanacions	41
Referències bibliogràfiques	42

Síntesi

Les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) més importants han comportat un increment atmosfèric del 40 % de diòxid de carboni (CO₂), del 150 % de metà (CH₄) i del 20 % d'òxid nítrós (N₂O) des de principi de la revolució industrial. Les emissions d'aquests gasos han continuat creixent des del *Segon informe del canvi climàtic a Catalunya*, tot i que les emissions de CO₂ han entrat en un període de creixement més lent del que es va observar durant el decenni del 2000.

Una altra novetat important des de l'últim informe ha estat la demostració que hi ha una relació quasi proporcional entre les emissions humanes acumulatives de CO₂ i l'augment de la temperatura global. Es tracta d'un descobriment important, que permet entendre la magnitud de la mitigació necessària per a assolir un objectiu d'estabilització climàtica sense haver d'esbrinar els efectes combinats dels més de trenta components que constitueixen el forçament radiatiu antropogènic. Basada en aquest marc d'interpretació, la quota d'emissions que resten per a limitar l'escalfament global per sota de 2 °C, amb una probabilitat > 66 %, és de 590 a 1.240 Gt CO₂. Si les emissions actuals de prop de 40 Gt CO₂ per any continuen, aquest balanç quedarà exhaurit entre quinze i trenta anys.

Totes les avaluacions socioeconòmiques i tècniques mostren que no és possible descarbonitzar

l'economia global amb aquests balanços de carboni tan petits. Aquest fet requereix que trajectòries d'estabilització climàtica a nivells d'escalfament baixos necessitin excedir la quota de carboni permesa amb el requeriment de remoure activament CO₂ de l'atmosfera més tard. Això comporta riscos addicionals, ja que moltes de les tecnologies per a remoure CO₂ de l'atmosfera no són disponibles o no han estat provades.

Tanmateix, hi ha signes positius: l'alentiment del creixement anual de les emissions de combustibles fòssils en els anys recents, la gran acceleració en la introducció de les energies renovables i, sobretot, la creació d'un marc polític molt adequat mitjançant l'Acord de París, amb un objectiu final d'assolir emissions zero netes durant la segona meitat d'aquest segle. Aquesta convergència de fets obre una oportunitat única, tot i que curta, per a decidir si ens volem embarcar en una transformació sense precedents dels sistemes energètic i socioeconòmic per a limitar l'escalfament global per sota de 2 °C.

Paraules clau

balanços de carboni, descarbonització, emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, emissions negatives, mitigació climàtica

1.1. Introducció: un repte planetari per a un món sostenible

L'escalfament del sistema climàtic és inequívoc, i la influència humana ha estat la causa dominant d'aquest escalfament des de mitjan segle xx (IPCC, 2013). Des de la publicació del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (Llebot, 2010) s'han observat nombroses fites climàtiques que cal destacar:

- Per primera vegada a la història, l'any 2015 la temperatura mitjana global del planeta va arribar a superar en 1 °C la temperatura de l'era preindustrial (WMO, 2016).
- Per primera vegada en vuit-cents mil anys, l'any 2015 la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera va superar la concentració permanent de 400 ppm (parts per milió) (Dlugokencky *et al.*, 2015).

S'han observat, també, altres canvis associats amb aquest escalfament (figura 1.1) i l'increment de la concentració de GEH a l'atmosfera: com ara la disminució de la quantitat de neu i de gel, l'escalfament i l'acidificació dels oceans i l'augment del nivell del mar. D'altra banda, des del 1950 també s'ha constatat un augment dels fenòmens meteorològics i climàtics extrems (IPCC, 2013).

Remarcablement, cal posar en relleu que a hores d'ara hem emès més de dos terços de tot el carboni que podem emetre si volem limitar l'augment de la temperatura global per sota dels 2 °C (amb una probabilitat > 66 %) respecte de la temperatura mitjana del planeta en l'època preindustrial (Le Quéré *et al.*, 2015).

Aquestes són les observacions i les fites que van servir de base per a les negociacions internacionals mantingudes a París, en el context de la COP21, per a acordar un nou pacte global per a mitigar el canvi climàtic i adaptar-s'hi (UNFCCC, 2015a). L'acord aprovat a París constitueix el canvi més radical en la història de la diplomàcia internacional per a estabilitzar el sistema climàtic. En primer lloc, estableix un objectiu absolut d'estabilitzar la temperatura mitjana global per sota de 2 °C per sobre dels nivells previs a la revolució industrial i, en segon lloc, hi afegeix l'objectiu secundari d'intentar estabilitzar el clima a 1,5 °C. La inclusió d'un objectiu concret i final és un reconeixement de la necessitat de desenvolupar estratègies polítiques, tecnològiques i socials a llarg termini que permetin desacoblar el creixement econòmic mundial de les emissions de GEH.

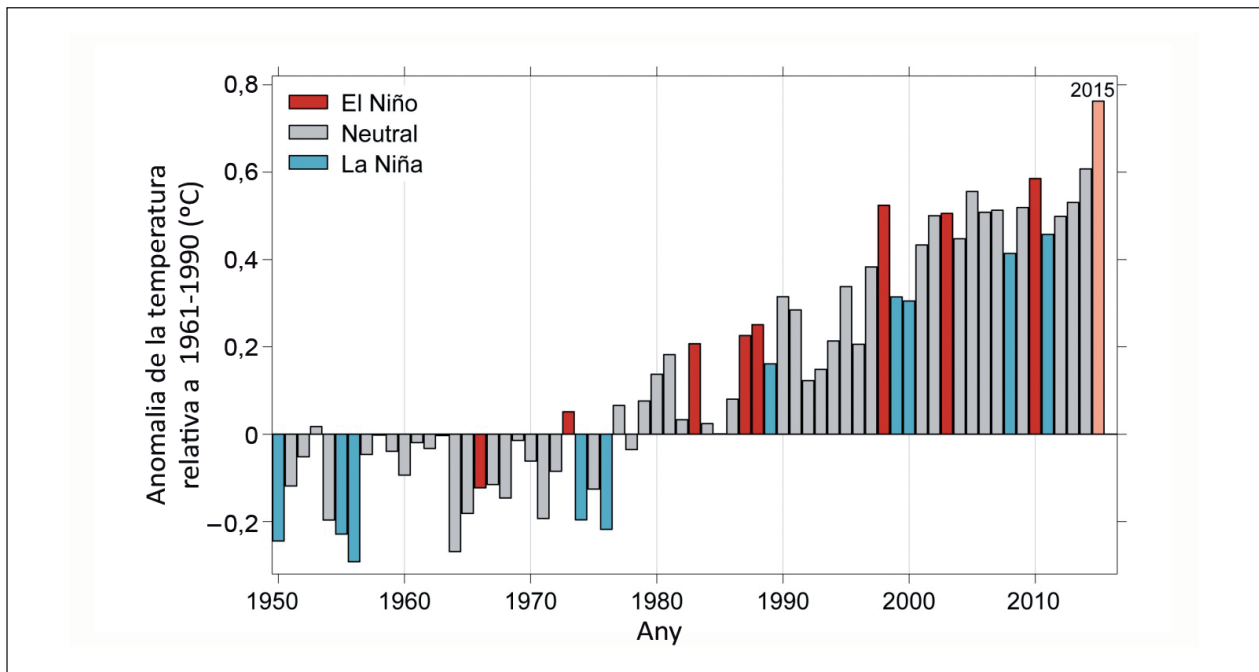


FIGURA 1.1. Anomalia de la temperatura global (1961-1990). La mitjana del 2015 es basa en les temperatures de gener a octubre. Les columnes vermelles corresponen a anys en què es produeix el fenomen d'El Niño; les blaves, a anys en què es produeix el fenomen de La Niña, i les grises, a anys neutrals. Els valors tenen una incertesa de prop del 0,1 °C.

Font: HadCRUT.4.4.0.0, GISTEMP i NOAA GlobalTemp per al període 1950-2014. (Gràfic adaptat de WMO, 2016.)

Amb la finalitat de complir aquest objectiu, els governs signataris s'han posat d'acord a assolir el pic d'emissions globals tan aviat com sigui possible i, subsegüentment, disminuir les emissions ràpidament fins al punt que qualssevol emissions procedents d'activitats humanes estiguin equilibrades amb la capacitat de remoure gasos de l'atmosfera. Aquest balanç o nivell d'emissions zero netes s'ha d'assolir durant la segona meitat d'aquest segle.

Aquest nivell tan precís en un acord polític és un triomf de la comunitat global científica i dels esforços del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC). L'acord es distancia dels objectius establerts a curt termini, entre d'altres, al Protocol de Kyoto o a l'acord que va resultar de la COP15, realitzada a Copenhagen, i fa real l'objectiu difús del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, que consisteix a prevenir la «perillosa interferència humana en el sistema climàtic».

Tanmateix, però, estableix un procés de «compromís i revisió» en períodes de cinc anys per a monitorar i augmentar l'ambició dels nivells de mitigació proposats per cada un dels estats que ratifiquin l'acord. Aquest procés de monitoratge contingut a l'acord posa de manifest que els compromisos de mitigació a què els països s'han compromès de cara a l'any 2030 són insuficients per a mantenir l'augment de la temperatura global per sota dels 2 °C, cosa que implica que els nivells de mitigació s'han de revisar i incrementar (per tal de fer-los més ambiciosos).

L'acord també reconeix que quasi dos terços de les emissions actuals de GEH han estat generats per les economies emergents i menys desenvolupades, i, per tant, cal incloure totes les nacions en un nou compromís per a mitigar el canvi climàtic. Igualment, manté que cal diferenciar els esforços entre països i que han de ser commensurables a les circumstàncies úniques, i també elabora la provisió per a desenvolupar un fons monetari de cent mil milions de dòlars anuals a partir del 2020. Aquest fons servirà per a donar suport al desenvolupament econòmic de baixa intensitat de carboni, a les energies netes i a l'adaptació al canvi climàtic.

Finalment, l'acord no especifica la necessitat de descarbonitzar els sistemes energètics, i deixa oberta la possibilitat que tecnologies de captura de carboni i emmagatzematge i estratègies de mitigació basades en els usos del sòl (com ara la reforestació) puguin tenir un paper en la mitigació del canvi climàtic. Això permetria que els combustibles fòssils poguessin continuar formant part de la combinació energètica dels països en el futur, encara que amb una proporció molt reduïda.

Aquest capítol defineix els components de la pertorbació del sistema climàtic per part de l'activitat antròpica, amb un èmfasi específic en els que formen part dels balanços de carboni històrics, contemporanis i futurs, i tenint present els diferents nivells d'estabilització climàtica. Concretament, es presta molta atenció al balanç de carboni i a les emissions de GEH màximes que permetrien estabilitzar la temperatura mitjana global a 1,5 °C i per sota de 2 °C (els objectius de l'Acord de París), i per sota de 3 °C, en coherència amb l'escenari RCP4.5, recomanat a l'hora d'elaborar el TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA.

1.2. La pertorbació humana del sistema climàtic

1.2.1. Emissions globals de gasos amb efecte d'hivernacle (CO_2 , CH_4 i N_2O)

Hi ha proves concloents que mostren que l'increment de GEH a l'atmosfera produït des de principi de l'era industrial és resultat directe de les activitats humanes. Aquestes proves inclouen el desequilibri entre les fonts i els embornals d'aquests gasos (que comporten una acumulació a l'atmosfera), la discriminació isotòpica dels gasos (que associa l'augment atmosfèric amb els combustibles fòssils) i patrons geogràfics coherents amb la distribució d'activitat humana (Ciais *et al.*, 2013).

Entre aquests gasos trobem el diòxid de carboni (CO_2), el metà (CH_4) i l'òxid nitrós (N_2O), a més d'altres gasos de vida llarga que contenen halògens (Ciais *et al.*, 2013). El CO_2 procedeix majorment de la crema de combustibles fòssils, com ara el petroli, el carbó i el gas natural, de la desforestació dels boscos (actualment, i majorment, dels boscos tropicals) i, en un percentatge més reduït, de la producció de ciment per a la construcció.

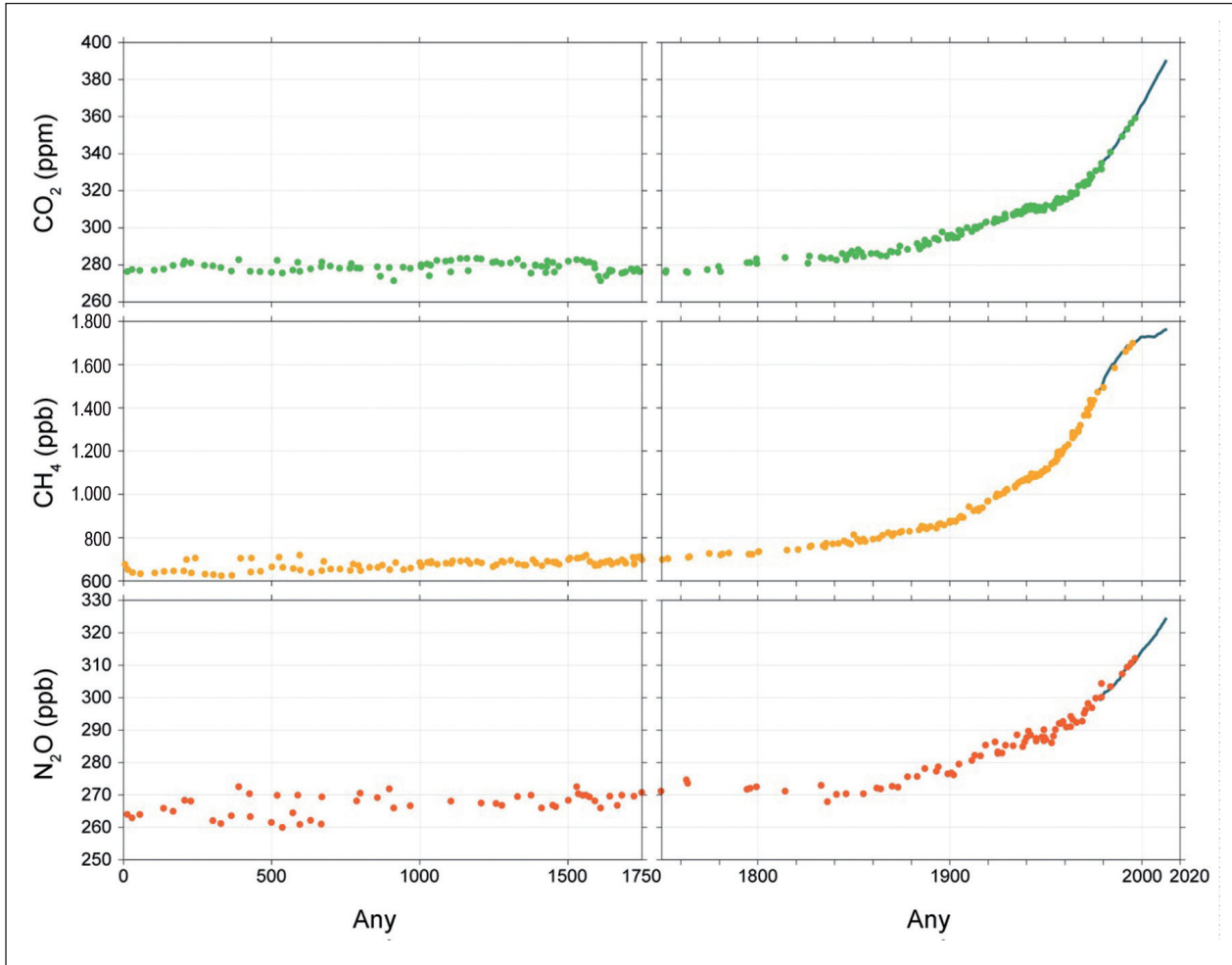


FIGURA 1.2. Evolució de la concentració atmosfèrica de CO₂, CH₄ i N₂O de l'any 0 al 1750 i durant l'era industrial (1750-2011) (Ciais et al., 2013). El CO₂ es mesura en parts per milió (ppm) i el CH₄ i el N₂O, en parts per mil milions (ppb).

El CH₄ prové de la generació d'energia amb carbó, de la digestió dels residus domèstics i industrials, dels processos digestius de la cabanya remugant (majorment vaques i bous) i de la crema de vegetació. Finalment, el N₂O prové de l'ús de fertilitzants, dels fums i de la crema de combustibles fòssils.

Tot i que molts d'aquests gasos es troben a l'atmosfera d'una manera natural, la pertorbació humana ha comportat que les emissions excedeixin la capacitat d'absorció natural que tenen els oceans i els ecosistemes terrestres. D'aquesta manera, la concentració de CO₂ a l'atmosfera ha augmentat un 40 % des del 1750 (l'any que es considera l'inici de la revolució industrial) fins al 2014, i ha passat de 278 ppm a 397 ppm durant aquest període. La concentració va continuar pujant l'any 2015, quan va superar les 400 ppm. El CH₄ ha aug-

mentat més del 150 % en aquest mateix període, i el N₂O ho ha fet prop del 20 % (figura 1.2, Ciais et al., 2013; Le Quéré et al., 2015).

Les emissions globals de CO₂ de combustibles fòssils van assolir el 35,7 ± 1,8 Gt CO₂ el 2014,¹ distribuïdes en emissions de carbó (42 %), petroli (33 %), gas (19 %), ciment (5,7 %) i quantitats més petites d'emissions causades per la crema de gas natural en mines i fàbriques (0,6 %) (Le Quéré et al., 2015). El 2014 la taxa de creixement només va ser del 0,6 % per sobre de les emissions del 2013 i la projecció per al 2015 és de creixement zero (Jackson et al., 2015). Aquestes taxes de creixement són molt per sota del 2,2 % de creixement mitjà anual observat durant el decenni passat (2005-2014) i del 3 % que va caracteritzar el decenni del 2000-2009.

1. 1 Gt (1 gigatona) = 1.000 milions de tones = 10¹⁵ grams.

Aquesta desacceleració en el creixement de les emissions globals de CO₂ és important i única des que hi ha un registre d'emissions antropogèniques, perquè ha anat acompanyada d'un creixement significatiu de l'economia global. En el passat, tots els exemples de desceleració i, fins i tot, de disminució del volum d'emissions s'han associat amb crisis econòmiques, com ara la crisi del petroli durant el decenni del 1980, el col·lapse de la Unió Soviètica a mitjan decenni del 1990 i la crisi financera global recent a partir del 2008 (Peters *et al.*, 2013).

Tot i que no hi ha evidències suficients que permetin afirmar que s'ha assolit un pic en les emissions globals de CO₂, sí que s'han produït prou canvis en l'estructura energètica de molts països per a creure que entrem en una era de creixement d'emissions més lenta que en el passat i que es podria tractar del primer pas cap a un pic d'emissions. Particularment, la Xina ha tingut el paper més important, amb una disminució en l'ús d'energia provinent de la combustió de carbó els dos últims anys, que ha estat compensada per un increment en la fracció d'energies que no generen GEH, com ara la nuclear, la hidroelèctrica i altres energies renovables (Jackson *et al.*, 2015). Aquesta tendència emergent de creixement d'emissions de CO₂ lenta contrasta d'una manera molt significativa amb les tendències apuntades en el *Segon informe del canvi climàtic*

a Catalunya (Llebot, 2010) sobre la continuació de taxes de creixement d'emissions exponencials durant el decenni del 2000.

Els territoris que l'any 2014 van contribuir d'una manera més rellevant a les emissions globals de diòxid de carboni van ser, per aquest ordre, la Xina (27 %), els Estats Units (15 %), la Unió Europea (10 %) i l'Índia (7 %). En conjunt, van ser responsables del 58 % de les emissions globals (figura 1.3; Le Quéré *et al.*, 2015). És més remarcable el fet que l'any 1990 el 66 % de les emissions globals procedien dels països més desenvolupats (coneguts com els països de l'annex B del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic). L'any 2013 aquest percentatge havia disminuït fins al 38 %, cosa que indicava el gran domini en el creixement de les emissions procedents de les economies emergents i menys desenvolupades.

Malgrat el nou domini d'aquests últims països en les emissions globals, s'observa que les emissions *per capita* segueixen sent molt més baixes que les dels països desenvolupats. A part dels països més rics en petroli, com ara Qatar, Kuwait, els Emirats Àrabs Units i l'Aràbia Saudita, amb emissions de CO₂ *per capita* de 46 a 20 tones, els Estats Units i Austràlia encapçalen el rànquing amb 16-17 tones per persona i any. Aquests valors són més del doble

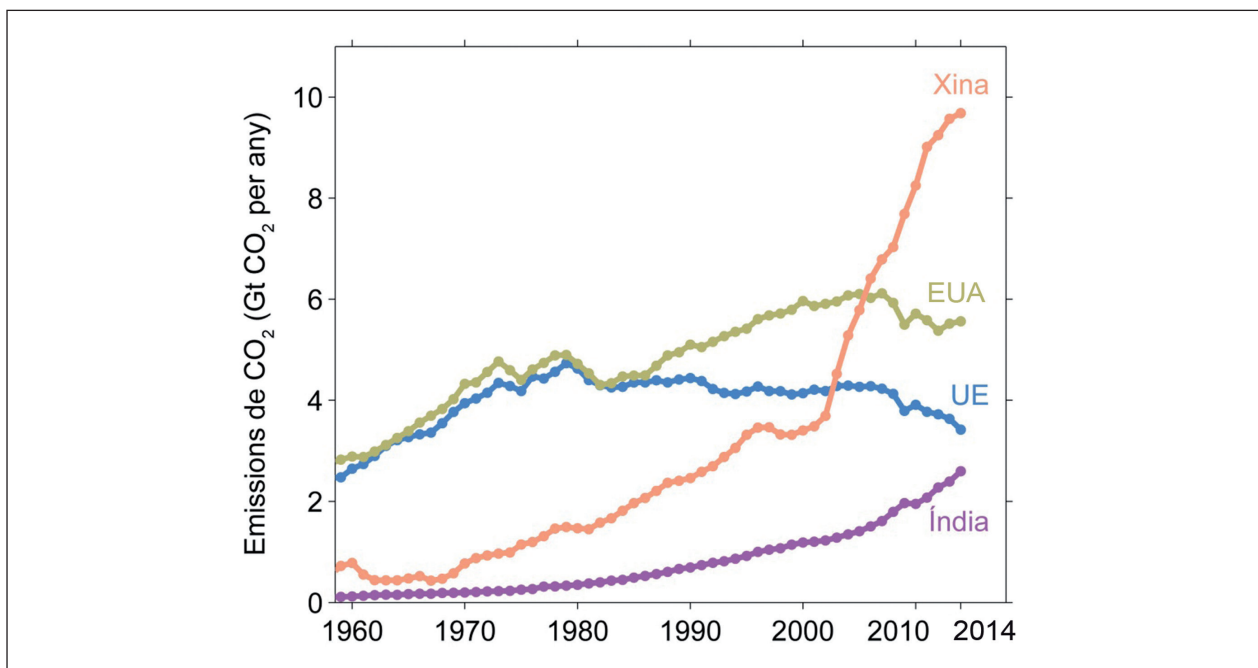


FIGURA 1.3. Evolució de les emissions de CO₂ als quatre països més emissors (la Xina, els EUA, la Unió Europea i l'Índia) en el període 1960-2014.

dels de la mitjana dels països europeus, vuit vegades més grans que els de l'Índia i més de cinquanta vegades més grans que els de molts dels països menys desenvolupats de l'Àfrica subsahariana. Significativament, les emissions *per capita* de la Xina van assolir la paritat amb les de la Unió Europea l'any 2014. Les emissions *per capita* d'Espanya són de 5,2 tones per persona (CDIAC, 2015).

Tot i que la crema de combustibles fòssils és la font principal d'emissions de GEH d'origen antròpic, la segona són els canvis deliberats en els usos i les cobertes del sòl (incloent-hi els processos de desforestació i reforestació, l'extracció de fusta i l'activitat agrícola). Part d'aquestes emissions són compensades per l'absorció de CO₂, associada amb el creixement de vegetació secundària, i pel segrest de carboni dels sòls després de la reforestació, l'abandonament agrícola, l'exclusió del foc i l'aplicació de pràctiques agrícoles que conserven el carboni (Houghton, 2003).

Es calcula que les emissions netes de CO₂ causades pels canvis en l'ús del sòl van ser de $5,5 \pm 2,5$ Gt CO₂ per any per al període 1990-2006 (Canadell *et al.*, 2007), però han disminuït significativament des de llavors. Per al decenni passat s'estima que les emissions han estat de $3,3 \pm 1,8$ Gt CO₂, i per al 2014, de $4,0 \pm 0,5$ Gt CO₂ (Le Quéré *et al.*, 2015). Tot i que la tendència general cap a una disminució en les emissions pels usos del sòl sembla bastant robusta, cal recordar que les observacions de satèl·lit suggereixen que hi ha un augment en la pèrdua de boscos de 2.101 km²/any. Brasil mostra una reducció clara de la desforestació contrarestada per l'augment en la pèrdua de boscos al sud-est d'Àsia i Àfrica. Les pràctiques intensives forestals en boscos subtropicals d'arreu del món són les responsables de les taxes de pèrdua més altes (Hansen *et al.*, 2013).

A diferència de la crema de combustibles fòssils, en què les emissions arriben a l'atmosfera immediatament, les emissions dels canvis en els usos del sòl són el resultat de les activitats d'aquell mateix any, però també de les emissions que resulten d'activitats d'anys anteriors. Per exemple, el drenatge d'aiguamolls tropicals genera emissions de CO₂ en sòls orgànics durant decennis subsegüents a l'any que es van drenar (Hooijer *et al.*, 2009).

1.2.2. Forçament radiatiu del carboni i d'altres components d'origen humà

De l'efecte total dels GEH en l'escalfament global (forçament radiatiu), el CO₂ és el responsable del 65 % del canvi que s'ha produït al llarg de la història i del 80 % del creixement actual (prenent el 2014 com a any de referència; Butler, *et al.*, 2015). A més de ser dominant en la pertorbació humana del clima, el CO₂ té un temps de residència a l'atmosfera molt llarg, quelcom que ha estat poc apreciat fins fa poc, en part a causa de la complexitat de calcular adequadament aquesta variable.

El CO₂ emès per les activitats humanes s'equilibra entre els diversos reservoris de carboni existents (i per mitjà de múltiples processos químics) a l'atmosfera, els ecosistemes terrestres i els oceans, en períodes que varien de segons a milers d'anys. Aquests processos inclouen l'extracció immediata de CO₂ per la fotosíntesi de les plantes terrestres i el balanç amb la respiració que emet CO₂, la difusió més lenta de CO₂ cap a l'oceà poc saturat, canvis en l'estructura de la vegetació durant decennis o segles i processos litològics que requereixen milers d'anys (figura 1.4).

Amb aquesta multiplicitat d'equilibris s'estima que el 40 % de les emissions de CO₂ produïdes durant un viatge en cotxe avui romandran a l'atmosfera durant cent anys, i que més del 20 % de les emissions encara seran a l'atmosfera d'aquí a mil anys. Hi ha un residu de més del 10 % que requerirà més de deu mil anys per a ser eliminat de l'atmosfera. Altres gasos tenen temps de residència a l'atmosfera proporcionalment encara més llargs, com ara el N₂O (tres-cents anys) i alguns HFC, amb més de tres mil anys.

Aquests temps de «residència» tan llargs a l'atmosfera expliquen la preocupació que provoca el fenomen del canvi climàtic, molt per sobre d'altres problemàtiques ambientals. L'objectiu, en aquest cas, és estabilitzar el sistema climàtic i no pas retornar-lo a l'estat previ a la pertorbació humana iniciada al segle XVIII amb la revolució industrial. És aquest fet d'irreversibilitat a l'escala de moltes generacions humanes el que nodreix el principi de precaució en la gestió i la mitigació del canvi climàtic.

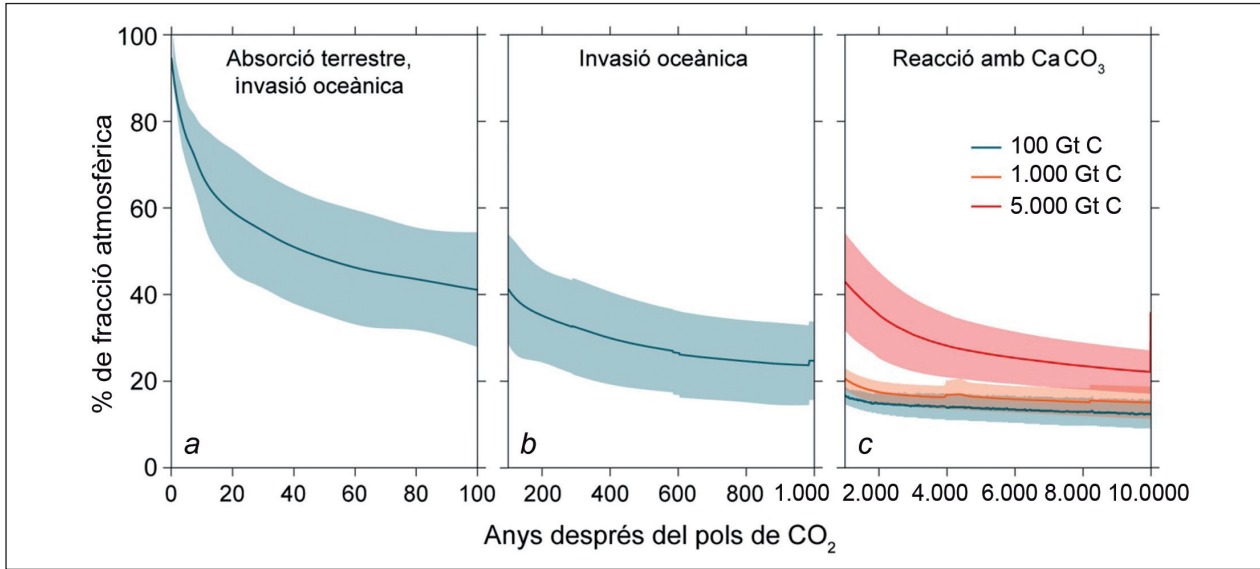


FIGURA 1.4. Permanència del CO₂ emès a l'atmosfera després d'una emissió massiva puntual d'acord amb models biogeoquímics (Ciais *et al.*, 2013).

A més dels GEH més importants (CO₂, CH₄, i N₂O), hi ha gasos halogenats (principalment, clorofluorocarburs, CFC) que també actuen com a GEH. Excepte el HFC i el SF₆, que no contenen clor ni brom, hi ha tretze gasos més petits amb efecte d'hivernacle que també contribueixen a l'aprimament de la capa d'ozó estratosfèric. En aquest

cas, cal tenir present que molts dels gasos que van ser escollits per a substituir els que eren més agressius per a la capa d'ozó són GEH, amb un poder de forçament radiatiu milers de vegades més elevat que el CO₂ i amb unes concentracions atmosfèriques que, a més, augmenten (Lunt *et al.*, 2015). Això requereix la coordinació urgent entre

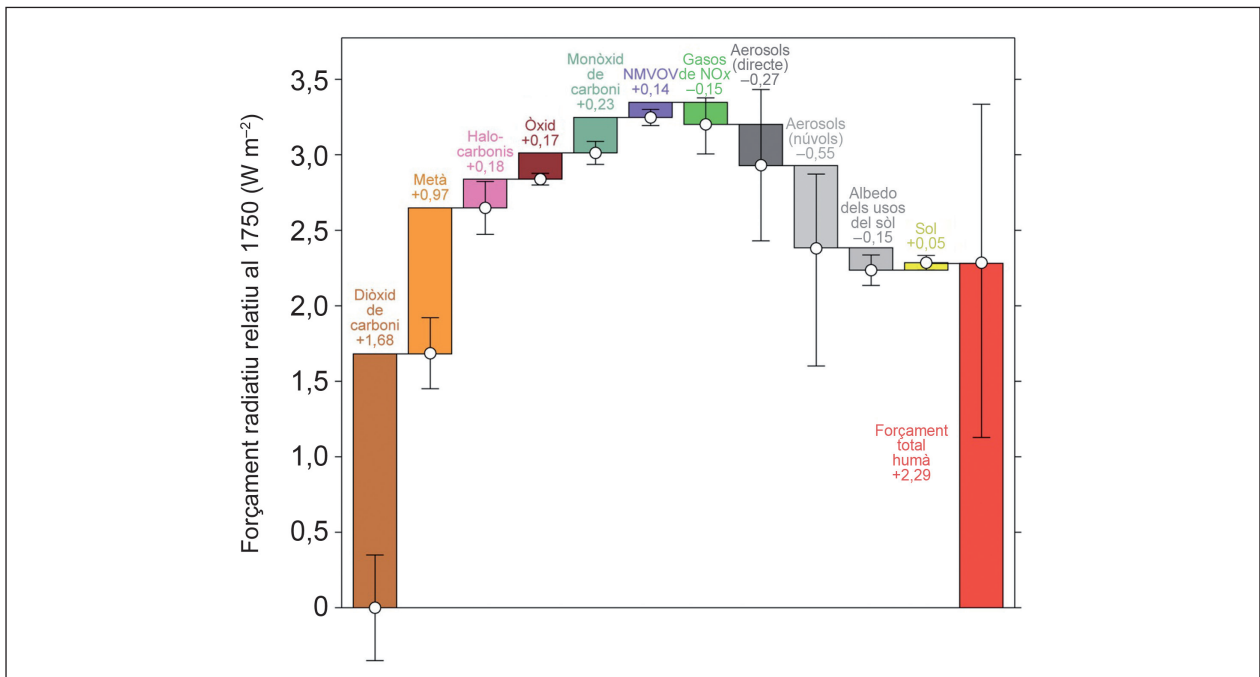


FIGURA 1.5. Forçament radiatiu relatiu a l'any 1750 (W m⁻²) per components directament o indirectament relacionats amb l'activitat humana. Els canvis causats pel sol són un component natural i no pas antropogènic, i no es comptabilitza en el total antropogènic.

Font: Basada en la figura SPM.5 del Grup de Treball I (WGI) del Cinquè informe d'avaluació (AR5) de l'IPCC. Adoptada del disseny original de *ShrinkthatFootpring.com* pel Global Carbon Project (Glen Peters i Robbie Andrew, CICERO).

el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic i el Protocol de Mont-real, l'encarregat de gestionar les emissions de substàncies que consumeixen l'ozó estratosfèric. En conjunt, els GEH van tenir una concentració atmosfèrica en CO_2 equivalent de 481 ppm CO_2 equiv. el 2014, de les quals 397 ppm eren CO_2 (GGI, 2015).

D'altra banda, també hi ha altres components que afecten el forçament radiatiu de la Terra, entre els quals aerosols i precursors d'aerosols que refreden l'atmosfera perquè reflecteixi la radiació incident (com, per exemple, la pols mineral, els sulfats, els nitrats i el carboni orgànic). Altres aerosols contribueixen a l'escalfament de l'atmosfera perquè la deposició de carboni negre sobre la superfície de neu i gel en fa disminuir el poder reflectant. També hi ha evidències clares que els canvis en l'ús del sòl han augmentat l'albedo de la Terra, és a dir, la capacitat d'absorbir i tornar a emetre la radiació que incideix en la superfície terrestre i que, per tant, contraresta part de l'escalfament global d'altres components. Aquest augment s'explica, en bona part, per la substitució de masses forestals (que actuen com a superfícies fosques en termes d'albedo) per superfícies més reflectants, com ara les pastures i els conreus. La figura 1.5 mostra els diferents components del forçament radiatiu i la contribució al canvi antropogènic total durant l'era

industrial (1750-2011) de 2,3 (1,1-3,3) W m^2 (Myhre *et al.*, 2013).

1.3. El balanç històric i contemporani entre fonts i embornals de CO_2

L'atenció sobre els impactes i la mitigació del canvi climàtic se centra, majorment, a entendre les emissions de GEH i la manera de reduir-les (i altres components del forçament radiatiu). Per al CO_2 , el gas dominant, és tan important entendre les emissions antropogèniques com els embornals d'aquest gas (tant naturals com gestionats). Aquesta importància es posa de manifest en la figura 1.6, que mostra les contribucions de les diferents fonts d'emissions a l'augment de la concentració de CO_2 a l'atmosfera entre el 1870 i el 2014.

Com es pot observar, sense els embornals les emissions haurien elevat la concentració atmosfèrica de CO_2 fins a 545 ppm i haurien superat clarament el límit que permetria establir el sistema climàtic per sota de 2 °C. Gràcies a l'efecte embornal dels oceans i la vegetació terrestre, que van absorbir més de la meitat de les emissions, la concentració atmosfèrica es va reduir en 148 ppm fins a assolir, l'any 2014, 397 ppm. Aquest pot ser el servei ecosistèmic més valuós per al benestar de les societats modernes, valorat en centenars de milions d'euros anualment, ja que el mateix efecte

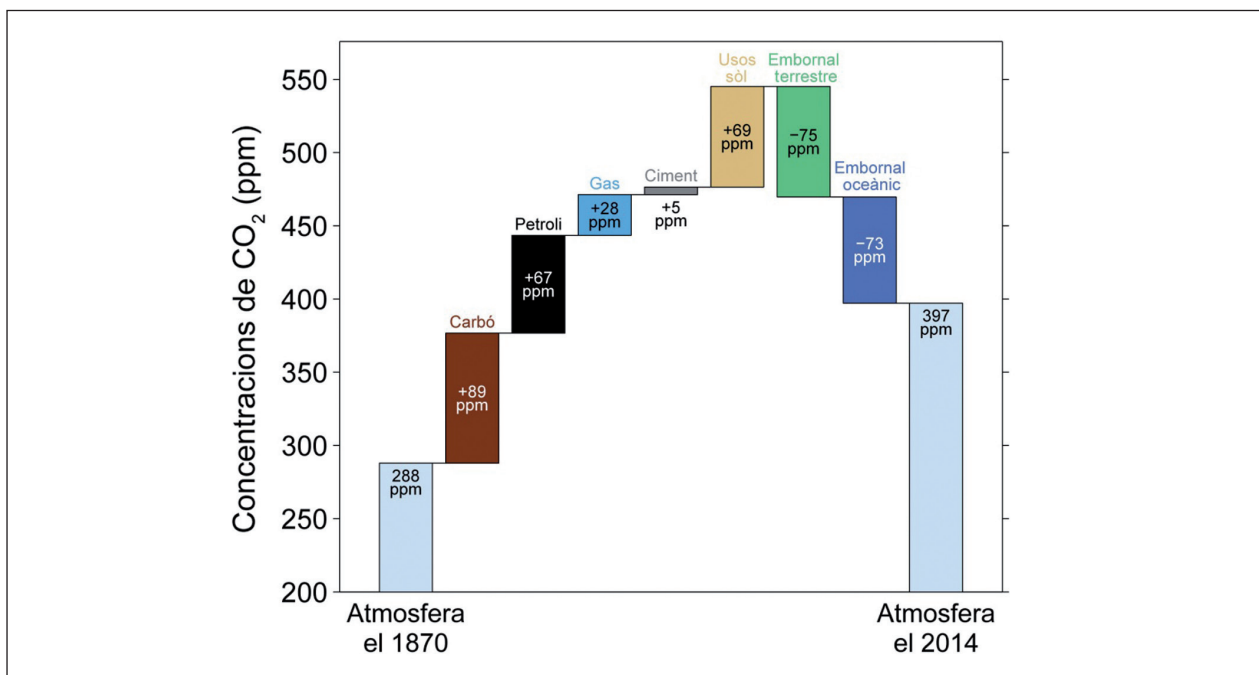


FIGURA 1.6. Les contribucions acumulatives de fonts i embornals de CO_2 al balanç global de carboni del 1870 al 2014 (GCP, 2015a).

TAULA 1.1. Emissions acumulatives de CO₂ per als períodes 1750-2014 i 1870-2014 en gigatonnes de diòxid de carboni (Gt CO₂)

Unitats en Gt CO ₂	1750-2014 (acumulatiu)	1870-2014 (acumulatiu)	2005-2014 (mitjana anual)
Emissions			
Combustibles fòssils i industrials	1.480 ± 75	1.465 ± 75	33 ± 1,8
Usos del sòl	690 ± 240	530 ± 180	3,4 ± 1,8
Emissions totals	2.170 ± 255	1.995 ± 200	37,4 ± 2,5
Partició			
Acumulació a l'atmosfera	935 ± 20	845 ± 20	16,0 ± 0,4
Embornal oceànic	625 ± 75	570 ± 75	9,5 ± 1,8
Embornal terrestre	605 ± 255	585 ± 220	10,9 ± 2,9

Per a les dues primeres columnes, els valors s'han arrodonit al número 5 més proper per tal de reflectir els límits de les estimacions. Això fa que el balanç entre les emissions i la partició no sigui zero.

Font: GCP, 2015a; Le Quéré *et al.*, 2015.

seria molt costós d'aconseguir utilitzant els mercats de carboni i altres sistemes per a la descarbonització (Canadell *et al.*, 2010).

Les emissions acumulatives durant el període 1750-2014 van ser de 1.480 ± 75 Gt CO₂ procedents de combustibles fòssils i de 690 ± 240 Gt CO₂ procedents de canvis en els usos del sòl, i van assolir un total de 2.170 ± 255 Gt CO₂. Aquestes emissions es van repartir entre l'atmosfera (935 ± 20 Gt CO₂), els oceans (625 ± 75 Gt CO₂) i els ecosistemes terrestres (605 ± 255 Gt CO₂). Segons alguns càlculs de balanços, les emissions acumulatives es compten a partir del 1870 (taula 1.1).

Les tendències dels embornals naturals són molt importants per a entendre l'excés de CO₂ que romandrà a l'atmosfera per una quantitat determinada d'emissions. La dinàmica d'aquests embornals ha estat una propietat molt impressionant del sistema planetari, que en part ha sobtat la comunitat científica per la constància i la resiliència al llarg del temps i en condicions de pertorbació molt diferents.

Això es posa de manifest amb l'exemple que a principi dels anys seixanta del segle passat les activitats humanes emetien unes 15 Gt CO₂ l'any, i que prop de la meitat van ser absorbides pels embornals naturals. Seixanta anys més tard les activitats humanes emeten unes 40 Gt CO₂ l'any, i

prop de 20 Gt CO₂ són absorbides pels oceans i els ecosistemes terrestres (Le Quéré *et al.*, 2015). Tanmateix, ja s'han detectat canvis en aquests embornals, amb una disminució de l'eficiència (Canadell *et al.*, 2007; Raupach *et al.*, 2015). A partir de l'aplicació de models climàtics, s'ha simulat que en un món més calent i amb més CO₂ l'eficiència dels embornals disminuirà. Tanmateix, la incertesa d'aquest *feedback* de carboni-clima és gran i constitueix una de les àrees de recerca més activa en el present.

1.4 El repte de la mitigació per a estabilitzar el sistema climàtic

El *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC (2013-2014) va produir més d'un miler de trajectòries d'emissions que exploraven una gran varietat d'escenaris futurs socioeconòmics i tecnològics. Això inclou des d'un món globalitzat que es descarbonitza molt ràpidament fins a un món on els sistemes energètics continuen basats en combustibles fòssils que alimenten economies d'una gran intensitat energètica i d'ús de materials. Aquests futurs comporten augments en la temperatura global mitjana des de quasi un 1 °C per sobre dels nivells preindustrials fins a més 5 °C a final d'aquest segle, amb escenaris extrems encara més alts (Clarke *et al.*, 2014).

Per a entendre la importància d'aquest interval entre 1 °C i 5 °C, cal tenir en compte que un

interval d'una magnitud similar però en fred és el que separa un període glacial d'un període interglacial, amb la diferència que en el primer cas més de mitja Europa i Amèrica del Nord són cobertes per gel i en el segon cas tenim els paisatges d'avui dia. L'Acord de París estableix l'objectiu d'estabilitzar el canvi climàtic per sota de 2 °C, cosa que correspon a la major part de les trajectòries amb línies blaves de la figura 1.7, conegudes com a *trajectòries de concentracions representatives*, que estableixen el clima a final de segle amb un excés de forçament radiatiu de 2,6 W m⁻².

Tots aquests escenaris són il·lustracions idealitzades de la manera com el món podria funcionar d'acord amb les assumpcions i les capacitats dels models d'avaluació integrada que van ser utilitzades en aquest exercici. Tot i que presenten mancances, aquests escenaris representen l'estat més avançat del coneixement i serveixen per a emmarcar els reptes associats a trajectòries alternatives i les conseqüències finals al clima. El que resta, ara,

és traduir aquestes trajectòries en accions concretes i entendre l'evolució temporal dels canvis socioeconòmics i tecnològics requerits per a estar dins d'una trajectòria determinada.

1.4.1. Balanços de carboni per a estabilitzar el sistema climàtic

El Cinquè informe d'avaluació de l'IPCC, publicat l'any 2013, va mostrar que hi ha una relació directa, quasi proporcional, entre les emissions humanes acumulatives de CO₂ i l'augment de la temperatura global. És un descobriment important, ja que hi ha molts components relacionats amb les activitats humanes que influeixen en el sistema climàtic, amb propietats d'escalfament i de refredament, algunes de les quals amb incerteses molt grans. Així, és possible relacionar una quantitat relativament fàcil de mesurar com ara les emissions acumulatives de CO₂ amb el canvi de la temperatura global, que és el resultat de canvis en la concentració de CO₂ però també de molts altres components que, d'una manera complexa, generen canvis del forçament radiatiu de la Terra (figura 1.5).

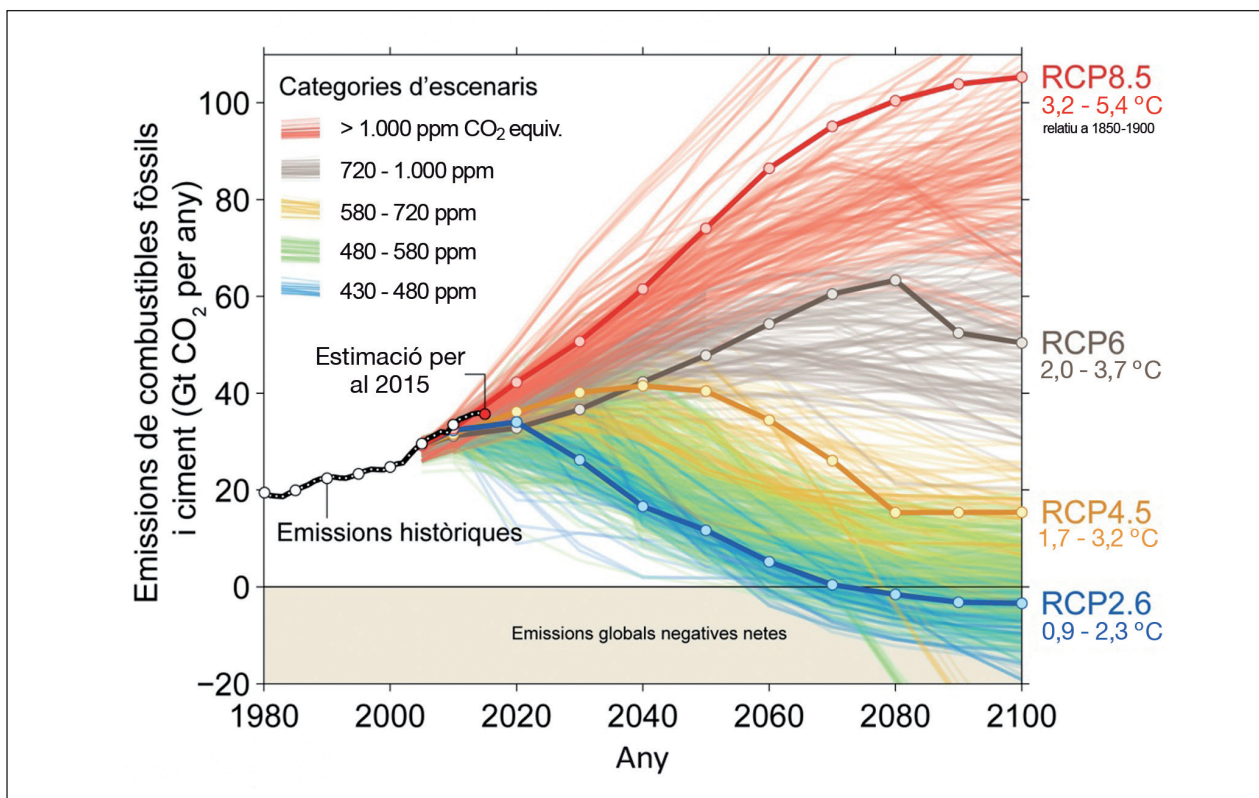


FIGURA 1.7. Trajectòries d'emissions de CO₂ utilitzades a l'AR5 de l'IPCC (2013-2014). Les línies fortes corresponen a les quatre trajectòries de concentracions representatives utilitzades al WGI de l'AR5 de l'IPCC per a generar les projeccions de canvi climàtic, i les línies més difuminades corresponen a les trajectòries utilitzades pel Grup de Treball III (WGIII) de l'IPCC per a avaluar les alternatives de mitigació. La línia negra de les emissions històriques prové del Carbon Dioxide Information Analysis Center i el Global Carbon Project.

TAULA 1.2. Emissions acumulatives de CO₂ des del 1870 per a no excedir tres nivells d'estabilització climàtica

Emissions acumulatives de CO ₂ des del 1870 (Gt CO ₂)									
Temperatura	< 1,5 °C			< 2 °C			< 3 °C		
Probabilitat	66 %	50 %	33 %	66 %	50 %	33 %	66 %	50 %	33 %
Balanç de carboni	2.300	2.300	2.400	2.550	2.900	2.950	s/d*	4.150	3.500
	–	–	–	–	–	–		–	–
	2.350	2.350	2.950	3.150	3.200	3.800		5.750	4.250

* s/d: sense dades.

Els dos nivells més baixos es corresponen amb els escenaris de l'RCP2.6 i l'Acord de París, i el nivell < 3 °C es correspon amb l'RCP4.5 i l'escenari triat com a referència en l'elaboració del TICCC. Aquests valors procedeixen de més de mil escenaris analitzats amb els models del WGIII de l'IPCC (Clarke *et al.*, 2014 i línies descolorides de la figura 1.7).

Aquesta relació és el resultat d'una sèrie de *feedbacks* compensatoris, com ara la relació logarítmica entre el CO₂ i el forçament radiatiu, la disminució en l'eficiència termal de l'oceà amb el temps i els canvis en l'eficiència dels embornals de CO₂ (Rogelj *et al.*, 2016), i del fet que el CO₂ té un temps de «residència» a l'atmosfera molt llarg.

Així, aquesta relació simplifica extraordinàriament l'exercici d'estimar la quantitat màxima de CO₂ permesa per a no excedir un objectiu específic d'estabilització climàtica. Hi ha molta literatura científica centrada en els balanços de carboni, que sovint presenta quantitats diferents de carboni per a un mateix nivell de temperatura. Això és degut als diferents resultats que s'obtenen quan s'usen diferents models o tipus de models per a calcular el balanç, al nivell de probabilitat (risc) de no excedir la temperatura objectiu i al fet que els gasos i els components del forçament radiatiu que no són CO₂ tenen trajectòries diferents als diversos escenaris, cosa que afecta la quota final de CO₂ permès (Rogelj *et al.*, 2016).

Sobre la probabilitat de situar-se per sota d'una temperatura objectiu, com més alta sigui la probabilitat més petit serà el balanç de carboni permès. La probabilitat es calcula com el nombre de models-escenaris que són capaços de romandre per sota d'un objectiu de temperatura per a una quantitat de carboni determinada.

La taula 1.2 mostra els valors dels balanços de carboni necessaris per a no excedir tres nivells de temperatura. Com més segur es vulgui estar

de no superar el nivell de temperatura escollit, més petit serà el balanç de carboni que és permès. La probabilitat s'associa al nivell de risc que els governs del món vulguin prendre quan decideixin els nivells de temperatura i de probabilitat (risc) associada.

Els dos gràfics de la figura 1.8 il·lustren els components històrics i permesos en el futur per als dos objectius d'estabilització del nou Acord de París (< 1,5 °C i < 2 °C). Els components que no són CO₂ inclouen tots els components de forçament radiatiu (figura 1.5), amb quantitats determinades pels escenaris. L'atribució del balanç de carboni disponible per al futur entre les emissions d'usos del sòl i de combustibles fòssils és el resultat de les fraccions escollides per als mateixos models i escenaris utilitzats. La qüestió important és la quota total restant, i no pas la partició entre combustibles fòssils i usos de sòl. Les quotes d'emissions que es podrien assumir en el futur són molt reduïdes: l'any 2014, per a l'escenari de 2 °C quedava un marge de 900 Gt CO₂, a les quals cal restar 40 Gt CO₂ d'emissions de combustibles fòssils i d'usos del sòl que es van produir durant el 2015 (Le Quéré *et al.*, 2015), per a arribar a un balanç per sota de 870 Gt CO₂. Si els nivells d'emissions de CO₂ actuals continuen en el futur, aquest balanç de carboni quedarà exhaurit en vint-i-dos anys. Si les emissions globals continuen creixent com ho han fet durant els decennis passats, les emissions permissibles es gastaran encara més ràpidament. Per a l'escenari d'1,5 °C, les quotes permissibles de CO₂ encara són més petites i quedaran exhaurides en pocs anys.

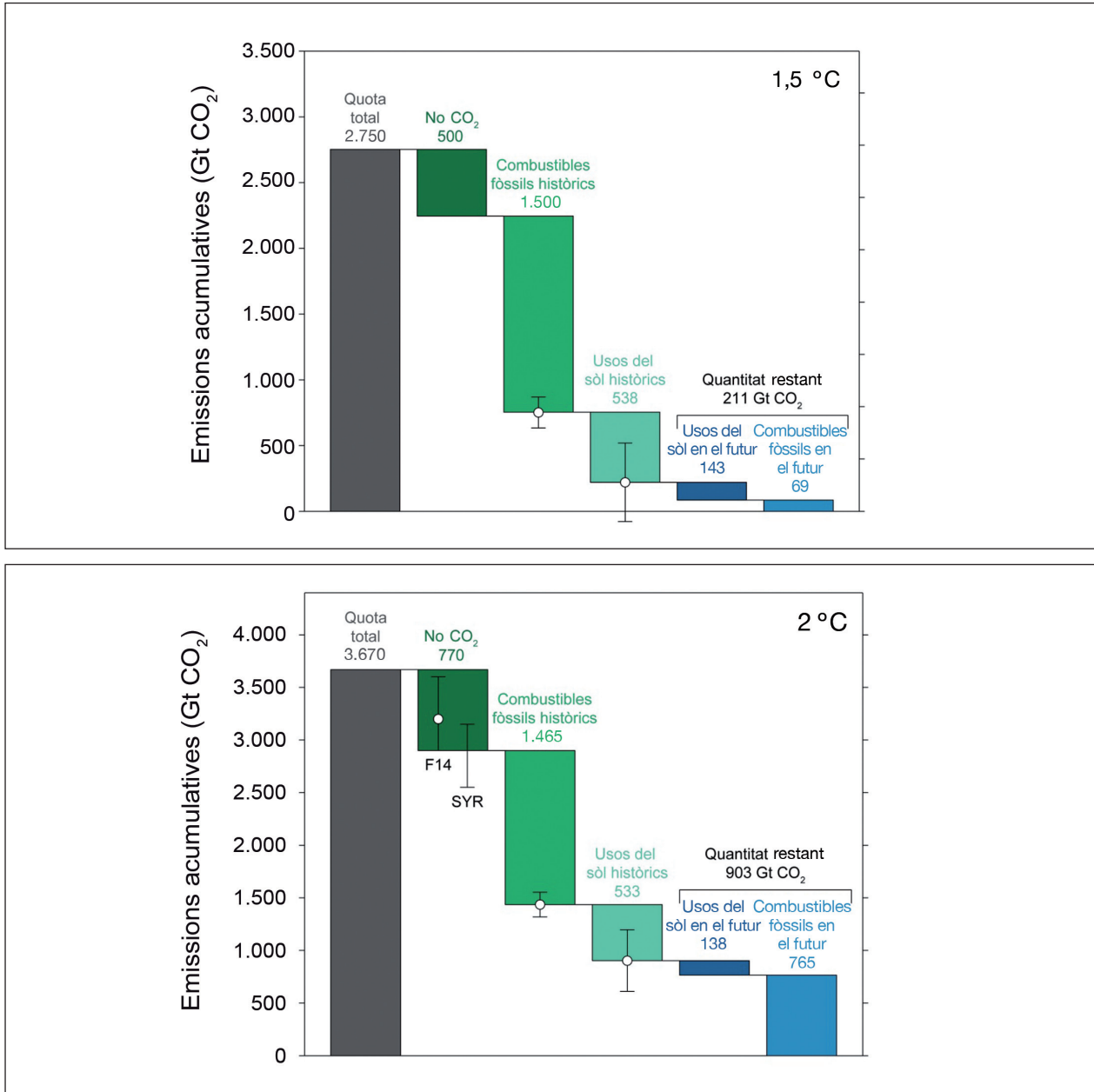


FIGURA 1.8. Il·lustracions simplifiades del balanç de carboni per a no excedir la temperatura mitjana global d'1,5 °C i 2 °C, amb una probabilitat més gran del 66 %. Les emissions històriques corresponen al període 1870-2014. En negre: quota total; en verd: emissions històriques, i en blau: emissions permeses en el futur.

Font: Glen Peters, CICERO; GCP, 2015a; Clarke *et al.*, 2014.

Com s'ha explicat abans, el nivell de risc que hom considera acceptable per a no superar la temperatura objectiu comporta canviar significativament la mida dels balanços de carboni. L'adopció del nivell de riscos és quelcom que els governs i la societat hauran de decidir. Tanmateix, no sembla prudent assumir riscos associats amb probabilitats per sota del 66 % (probabilitat mínima 2 de 3) per tal d'assegurar que no se superi l'objectiu de temperatura atès un balanç de carboni. Malaura-

dament, és massa tard per a poder adoptar nivells de probabilitat més alts per a l'estabilització a 1,5 °C i 2 °C, com ara nivells del 90-95 %, que assegurarien aconseguir els objectius escollits.

El valor d'aquests balanços de carboni, especialment per a nivells d'estabilització baixos com ara < 1,5 °C i < 2 °C, té més incertesa a causa dels altres components del forçament radiatiu que no són CO₂. Hi ha moltes possibles barreges de CO₂ i no

CO₂, amb l'efecte consegüent en la temperatura. Aquest efecte és més petit per a escenaris alts de temperatura, en els quals el CO₂ és molt abundant amb relació a la resta de components, cosa que fa la relació quasi lineal més forta.

D'acord amb el coneixement adquirit sobre balanços de carboni des de la publicació del *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC (l'any 2013) fins ara, es considera que la quota d'emissions que encara es poden emetre sense superar els 2 °C amb una probabilitat > 66 % és de 590 Gt CO₂ a 1.240 Gt CO₂ (Rogelj *et al.*, 2016). Si les emissions actuals de 40 Gt CO₂ per any continuen, aquest balanç quedarà exhaurit entre quinze i trenta anys.

1.4.2. Trajectòries congruents amb els balanços de carboni

És important apuntar que per a arribar al pic d'emissions i a l'estabilització de la temperatura global es requereix assolir emissions netes iguals a zero. En el cas dels escenaris d'1,5 °C i 2 °C, aquesta fita s'ha d'aconseguir durant aquest segle (Collins *et al.*, 2013; Clarke *et al.*, 2014).

D'acord amb els càlculs de l'apartat anterior, la probabilitat de quedar-se per sota de 2 °C disminuirà ràpidament més enllà dels pròxims vint o trenta anys. Descarbonitzar l'economia global en aquest període tan curt requereix l'assoliment, d'una manera immediata, de taxes de mitigació anuals per sobre del 5 %, sostingudes durant decennis (Rau-pach *et al.*, 2014). És una opció molt improbable, bàsicament perquè més del 60 % de les emissions globals provenen d'economies emergents i menys desenvolupades, amb una capacitat limitada per a descarbonitzar-se tan ràpidament.

Les quotes d'emissions disponibles es poden fer allargar més temps si entrem en una tendència de reducció d'emissions amb el temps. Una mitigació agressiva, comparable a la reducció d'emissions que va resultar de les grans transformacions energètiques en alguns països quan es van nuclearitzar (Peters *et al.*, 2013), podria allargar les quotes de carboni fins a mitjan segle. Tanmateix, els models d'avaluació integrada mostren que no és possible, ni econòmicament ni tècnicament, descarbonitzar l'economia global tan ràpidament sense entrar en camins insostenibles de desenvolupament. Això

fa que els models excedeixin la quota de carboni i no assoleixen emissions netes iguals a zero fins a la segona meitat d'aquest segle. El pagament per a excedir la quota durant la primera meitat del segle és la necessitat de remoure activament CO₂ de l'atmosfera en grans quantitats per a arribar a emissions zero netes (Fuss *et al.*, 2014), tal com ensenya la figura 1.7, per a tots els escenaris que superen la línia zero d'emissions.

La figura 1.9 il·lustra tres trajectòries possibles discutides en aquest apartat que són congruents amb l'estabilització de la temperatura global a 1,5 °C. Les figures 1.8.a i 1.8.b il·lustren l'ús del concepte del balanç de carboni sense remoure emissions de l'atmosfera (també conegudes com a *emissions negatives*). L'Acord de París es basa en la premissa que excedirem el balanç de carboni durant la primera meitat d'aquest segle, que esdevindrem neutrals en emissions durant la segona meitat i que a continuació vindrà un període en què remourem CO₂ activament de l'atmosfera (figura 1.8.c). Això es basa en el fet que 101 dels 116 escenaris amb nivells de concentracions de CO₂ de 430 a 480 ppm CO₂ equiv. del WGIII de l'IPCC (Clarke *et al.*, 2014), coherents amb els 2 °C, requereixen emissions negatives globals netes durant la segona meitat d'aquest segle (Fuss *et al.*, 2014; Smith *et al.*, 2016). De fet, les tecnologies d'emissions negatives també són comunes en els portafolis de mitigació de moltes de les trajectòries més calentes de 2 °C. Concretament, 235 dels 635 escenaris que assoleixen concentracions de 480 a 720 ppm CO₂ equiv. fan servir tecnologies d'emissions negatives (Fuss *et al.*, 2014).

Aquestes tecnologies d'emissions negatives inclouen la producció de biocombustibles amb captura de carboni i emmagatzematge, la captura directa de CO₂ de l'atmosfera amb reaccions químiques, l'acceleració de la descomposició natural de minerals, l'aforestació i la reforestació, la conversió de biomassa a biocarbó altament recalcitrant i la manipulació de l'absorció de carboni pels oceans per mitjans químics o biològics. Amb relació a moltes d'aquestes tecnologies, cal tenir present que hi ha grans incerteses sobre l'efectivitat, no se n'ha demostrat la viabilitat comercial o bé tenen costos prohibitius. Poques tècniques tenen el potencial de ser desenvolupades per a crear emissions ne-

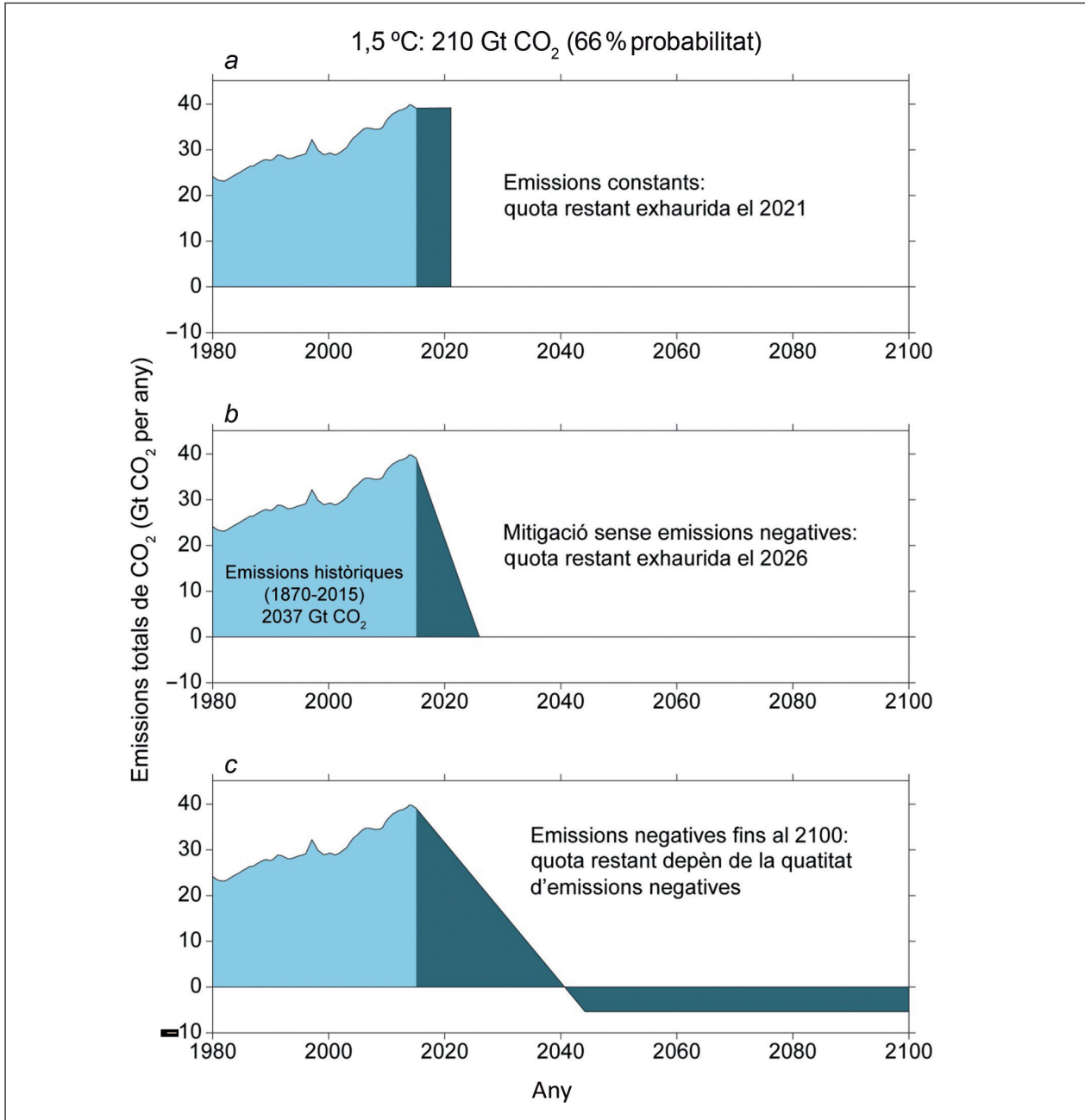


FIGURA 1.9. Il·lustració de tres trajectòries alternatives congruents amb l'estabilització de la temperatura global a 1,5 °C. a) Basat en el balanç de carboni restant a partir del 2016 de 210 Gt CO₂ i d'emissions anuals de 40 Gt CO₂; el balanç és exhaurit el 2021. b) El mateix balanç de carboni però amb una mitigació d'emissions molt agressiva; el balanç és exhaurit el 2026. c) El mateix balanç de carboni «net» però excedit el 2040, a partir del qual es necessiten emissions negatives de quasi 4 Gt CO₂ per any fins a final de segle per a compensar l'excés d'emissions.

Font: Adoptat de Glen Peters, CICERO; dades de GCP, 2015a.

gatives a l'escala que és necessària; alguns escenaris requereixen nivells de fins a 1.000 Gt CO₂ acumulatius en el transcurs d'aquest segle (Smith *et al.*, 2016). L'ús excessiu de tecnologies que no han estat demostrades comercialment o que tenen costos prohibitius s'afegeix als riscos de les trajectòries acceptades i a la urgència de desenvolupar

la recerca necessària i el desenvolupament per a fer possibles les trajectòries d'escalfament baix.

Atesa la incertesa d'aquestes tecnologies, els models d'avaluació integrada han optat per usar, majorment, la producció de biocombustibles amb captura de carboni i emmagatzematge (BCCCE)

(figura 1.10). Els BCCCE són el resultat d'ajuntar dues opcions molt polèmiques: la producció de biocombustibles i la captura i emmagatzematge dels gasos de l'oxidació de la biomassa en reserves geològiques, sovint aqüífers salins. Quaranta-quatre escenaris que s'adiuen amb la limitació de l'escalfament global per sota de 2 °C requereixen emissions negatives anuals de BCCCE de -12 (-22, -7) Gt CO₂ a final de segle i produeixen un total d'emissions netes negatives (l'eliminació neta de CO₂ de l'atmosfera) de -10 (-22, -1,5) Gt CO₂ (Smith *et al.*, 2016).

Tot i que sabem com produir biocombustibles i usar tecnologies de captura i emmagatzematge de carboni a l'escala de pocs milions de tones de CO₂ l'any, no sabem si és possible o com podríem incrementar aquestes tecnologies als nivells requerits de centenars de milions de tones anuals d'emissions negatives (Canadell *et al.*, 2014).

Uns punts clau que encara cal resoldre per a poder augmentar la producció necessària de BCCCE són els requeriments de sòls disponibles per a plantar els cultius energètics, amb estimacions de 370 a 800 milions d'hectàrees per a escenaris de 2 °C, amb requeriments mitjans d'aigua de 700 km³ per any a final de segle (Smith *et al.*, 2016). La competència i l'optimització de múltiples usos del sòl seran uns dels grans rep-

tes que caldrà resoldre en els propers decennis, ja que estabilitzar el clima a costa de disparar els preus alimentaris a causa de l'escassetat de sòls agrícoles per a alimentar una població mundial creixent no faria cap bé.

Catalunya s'ha compromès a reduir en un 40 % les emissions de GEH per al 2030, respecte al nivell del 2005, com a contribució a l'Acord de París (OCCC, 2015). Formarà part de la contribució espanyola de reduir en un 25 % les emissions durant el mateix període i de la reducció de prop del 34 % de la Unió Europea (un 40 % de reducció si ho comparem amb el 1990). Això situa l'esforç de Catalunya molt per sobre de l'esforç mitjà d'Espanya i de la Unió Europea, i es relaciona més amb els esforços de les nacions econòmicament més avançades d'Europa i els Estats Units.

No és fàcil avaluar si el compromís de Catalunya o el de qualsevol altra nació és congruent amb els objectius de l'Acord de París d'estabilitzar la temperatura global per sota de 2 °C i d'intentar romandre a 1,5 °C, i això és degut a dues raons. La primera té a veure amb el fet que l'únic balanç del qual podem comparar les contribucions és el balanç global de carboni restant, que permet estabilitzar la temperatura per sota de 2 °C. La partició d'aquest balanç restant seria una decisió política dels estats membres del Conveni marc sobre el canvi climàtic.

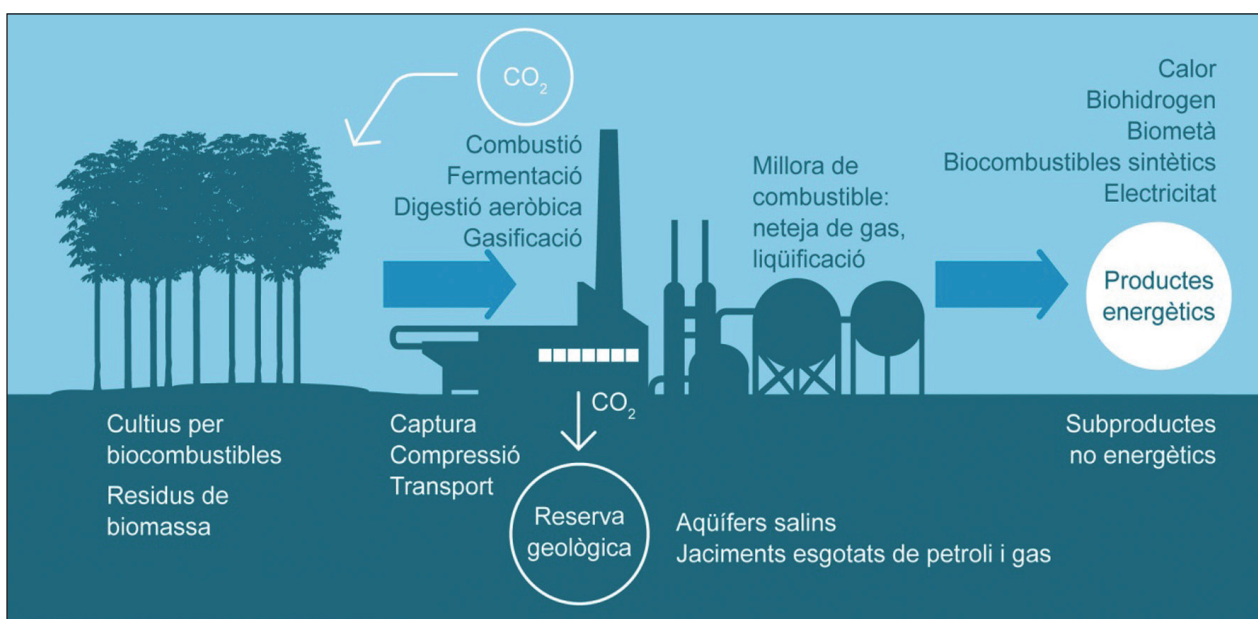


FIGURA 1.10. Producció de biocombustibles amb captura de carboni i emmagatzematge geològic.

Font: Canadell *et al.*, 2014.

Tanmateix, el Conveni marc ha deixat clar que no desenvoluparà regles per a distribuir la quota restant entre els estats membres. De fet, un dels principis fonamentals del nou acord, i a diferència del Protocol de Kyoto, és el fet que els estats membres decideixen per si mateixos els nivells de mitigació, i el compromís de l'acord és engrandir l'esforç cada cinc anys. A aquesta primera raó cal afegir el fet que la quota permessa d'emissions no és una quota fixa, sinó que canvia segons el nivell de risc que la societat vol acceptar quan té en compte tecnologies futures per a reduir CO_2 de l'atmosfera, que encara no són disponibles.

La segona raó és el fet que els compromisos de mitigació només s'estenen fins al 2030, i que hi ha molts pocs països que revelin les aspiracions per a més enllà, com ara el Regne Unit, que pretén reduir en un 80 % les emissions per al 2050, respecte del 1990. Aquestes trajectòries només per als quinze anys vinents són massa curtes per a entendre si ens encaminem cap a trajectòries coherents amb els objectius, les quals s'estendran durant la resta d'aquest segle.

Tanmateix, hom pot assumir uns requeriments específics més enllà del 2030 i avaluar si els primers quinze anys de la trajectòria de mitigació són congruents amb l'estabilització per sota de 2 °C. Totes les anàlisis fetes fins ara han arribat a la mateixa conclusió: la col·lecció d'esforços de mitigació (INDC) que els estats membres van sotmetre al Conveni marc sobre el canvi climàtic l'any passat comportarà que la temperatura global se situï ben per sobre dels 2 °C (UNFCCC, 2015b; CAT, 2015).

Tenir en compte l'excés d'emissions del 2030 (15,1 Gt CO_2 equiv., o el 35 % d'acord amb l'UNFCCC, 2015b) i demanar a nacions específiques que estableixin objectius d'emissions més ambiciosos per a cobrir aquesta distància seria arbitrari. D'això deduïm que totes les nacions hauran d'oferir nivells de mitigació més alts dels que van oferir abans de les negociacions de París, el 2015. Raupach *et al.* (2014) van fer un intent de basar la distribució de les emissions permeses per a un escenari de 2 °C en una distribució d'emissions iguals per persona o en una distribució que respectés les tendències actuals. En ambdues maneres de distribuir les emissions, entre regions o entre països, els nivells

de mitigació que pertoquen als països europeus són molt més alts que els nivells oferts als INDC. Això resulta de la necessitat de permetre que els països més pobres es puguin desenvolupar en part encara amb l'ús de combustibles fòssils.

A la figura 1.7, que conté la informació en què es va basar l'Acord de París, la major part dels escenaris congruents amb 2 °C o menys assoleixen emissions zero netes a mitjan segona part d'aquest segle. Si reflectim el principi del Conveni marc de la responsabilitat comuna però diferenciada d'acord amb les circumstàncies nacionals diferents, hom podria esperar que els països més desenvolupats haurien d'arribar a emissions zero netes al voltant del 2050, per tal de permetre que els països menys desenvolupats assolissin aquest objectiu més tard. Es tracta d'un objectiu clar a llarg termini, que permet entendre si les accions dels països desenvolupats són coherents amb la limitació de la temperatura global per sota de 2 °C.

1.5. Un repte sense precedents

No hi ha cap dubte que l'Acord de París, aprovat el mes de desembre de l'any 2015, ha llançat el repte més gran que mai s'ha plantejat als estats que són part del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, un repte que requereix una transformació fonamental dels sistemes energètic i econòmic a escala global. Aquesta transformació només serà possible si va lligada a un canvi del sistema social de la mateixa magnitud. Ara mateix, trobar una situació anàloga a la història de les societats modernes es fa difícil.

La figura 1.7 mostra la tendència global de les emissions de CO_2 fins a l'any 2015, la qual no és congruent amb l'escenari de limitació de l'escalfament global per sota de 2 °C. Aquesta tendència no permet projectar el futur, però un seguiment lineal ens portaria cap a un escalfament global mitjà de més de 3 °C a final d'aquest segle.

La figura 1.11 il·lustra les trajectòries d'emissions dels quatre països/regions que generen més emissions de CO_2 , responsables del 59 % de les emissions globals de CO_2 , incloent-hi els compromisos de mitigació fins al 2030. Aquestes projeccions es comparen amb un escenari idealitzat que conserva el balanç de carboni per limitar l'escalfa-

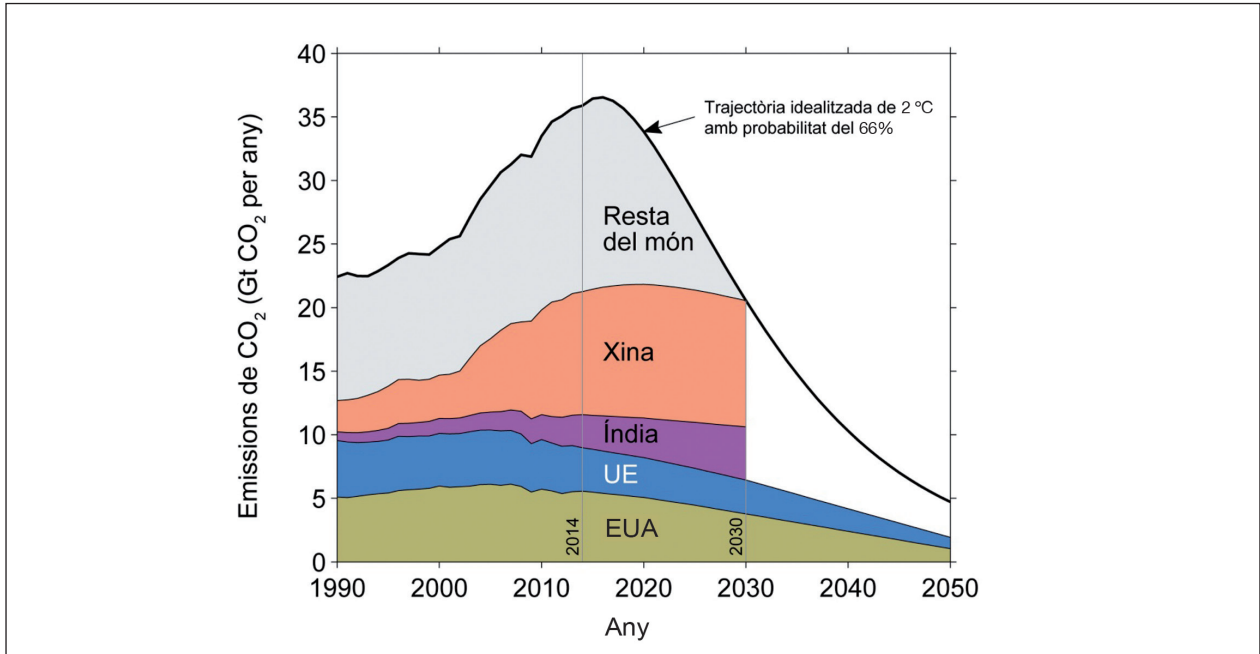


FIGURA 1.11. Comparació entre les trajectòries dels quatre països/regions amb les emissions de CO₂ més altes globalment, incloent-hi els compromisos de mitigació fins al 2030 i un escenari idealitzat d'estabilització a 2 °C (basat en Peters *et al.*, 2015; GCP, 2015a).

ment global per sota a 2 °C (sense utilitzar emissions negatives netes), i mostren que els esforços de mitigació a què els governs s'han compromès fins al 2030 no són suficients per a evitar excedir el balanç de carboni permès. Fins i tot seguint trajectòries amb emissions negatives (les trajectò-

ries de color blau de la figura 1.7), els esforços de mitigació proposats pel col·lectiu de més de cent noranta estats no són suficients (UNFCCC, 2015b).

També és important avaluar i monitorar les trajectòries de descarbonització de països individuals

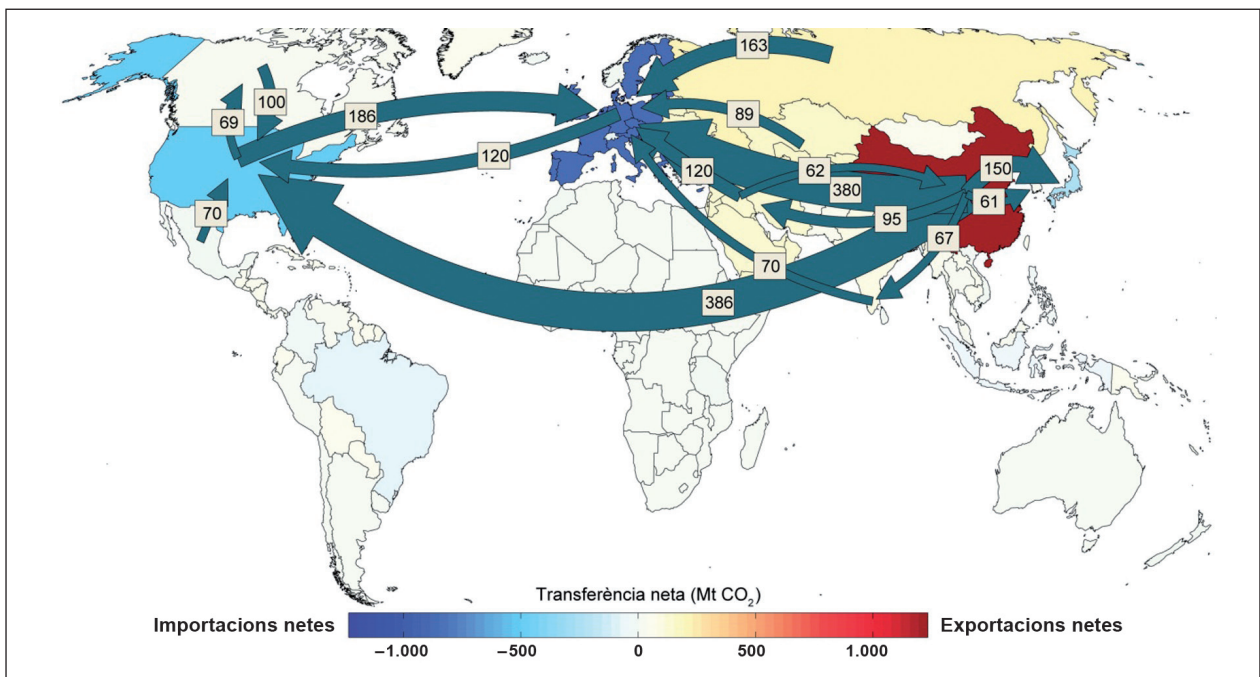


FIGURA 1.12. Els deu fluxos de carboni més grans entre el lloc on s'emeten i el lloc on els productes i serveis es consumeixen. Es tracta de les transferències netes entre països per mitjà del comerç internacional de productes i serveis en Mt CO₂ (Peters *et al.*, 2013; GCP, 2015a).

tenint en compte la tendència de molts països desenvolupats a externalitzar parcialment a altres països les emissions associades al consum de productes i serveis. Aquestes emissions, anomenades *de consum*, són diferents de les emissions *territorials*, generades al territori d'un país determinat, i són regulades pel Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Entre els anys 1990 i 2013, les emissions territorials dels països més desenvolupats (països de l'annex B del Conveni marc) van disminuir a un ritme mitjà del 0,1 % anual, mentre que les de consum van créixer en un 0,8 % (Le Quéré *et al.*, 2015). L'estabilització del clima no es materialitzarà si simplement es transfereixen emissions d'un país a un altre per mitjà del comerç internacional (figura 1.12).

Finalment, bona part del repte de desenvolupar un món amb emissions de carboni molt baixes o totalment descarbonitzat es relaciona amb el fet que el sistema econòmic actual es basa, en part, en els beneficis de l'explotació futura de reserves fòssils. La figura 1.13 mostra els balanços de carboni que corresponen als escenaris d'estabilització climàtica a 2 °C, 2,5 °C i 3 °C. Els balanços representen les emissions històriques però també les emissions *compromeses*, és a dir, les emissions futures associades a la infraestructura energètica basada en combustibles fòssils que continuaran fins que es retirin de velles (Davis *et al.*, 2010).

Aquestes quotes mostren que quasi dues tercers parts dels recursos fòssils emmagatzemats a

les reserves conegudes no s'haurien d'explotar amb finalitats energètiques per evitar superar la concentració atmosfèrica de carboni que, amb una probabilitat del 50 %, mantindria l'escalfament global per sota de 2 °C (Raupach *et al.*, 2014). La transferència de carboni de les reserves de recursos fòssils convencionals a l'atmosfera ja excediria el balanç de 3 °C, i si hi afegim les reserves de combustibles menys convencionals, que creixen ràpidament, se superarien els 4 °C de temperatura mitjana global.

Malgrat l'excepcionalitat de tots aquests reptes, hi ha signes positius que convergeixen ràpidament i que podrien facilitar l'inici de la gran transformació requerida (si optem per fer-la). L'Acord de París, tot i no ser en si mateix el progrés tangible òptim pel que fa a la reducció de les emissions globals, sí que és el marc polític més agressiu que mai hem tingut, amb una visió fixada en l'objectiu final d'estabilització climàtica per sota de 2 °C i unes estructures d'implementació i de revisió adequades.

El creixement d'emissions globals de CO₂ s'ha desaccelerat significativament els dos últims anys, amb un creixement del 0,6 % el 2014 i una projecció de no creixement per al 2015, amb relació a les taxes de creixement anual del 2,4 % del decenni anterior (Jackson *et al.*, 2015). Aquesta desacceleració ha anat acompanyada d'un creixement important del producte brut mundial, de més del 3 % per any, que apunta d'una manera clara cap a un desacoblament —únic a la història moderna— en-

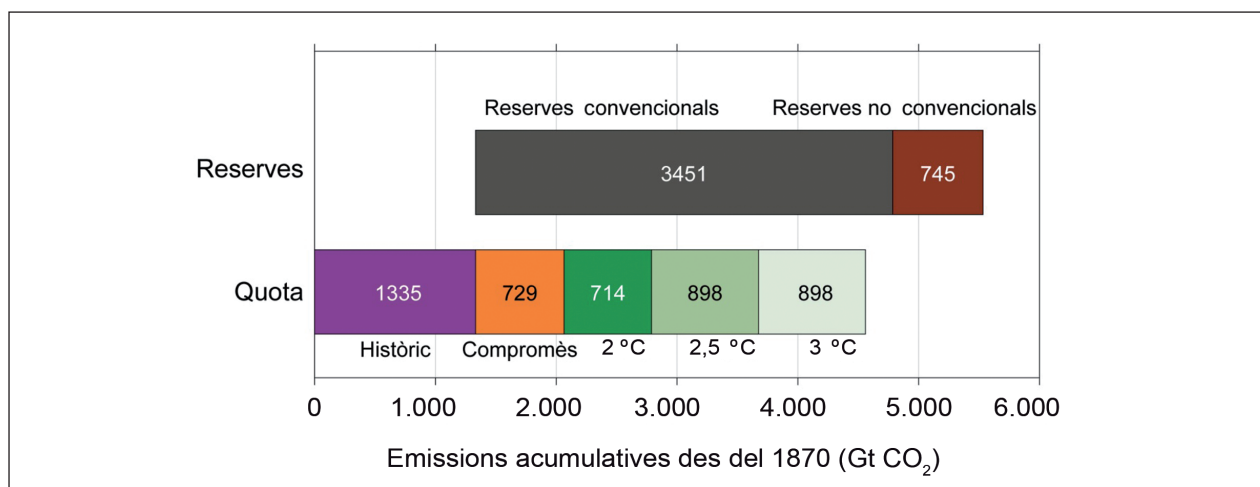


FIGURA 1.13. Comparació entre els balanços de carboni corresponents a escenaris d'estabilització climàtica a 2 °C, 2,5 °C i 3 °C (50 % probabilitat) amb les reserves de carboni dels combustibles fòssils (carbó, gas natural, petroli, gas no convencional i petroli no convencional) (Raupach *et al.*, 2014).

tre l'economia i les emissions globals. És ben possible que les emissions tornin a créixer en el futur, però tots els signes indiquen que som davant d'un període de creixement lent que podria comportar un pic d'emissions en un futur no gaire llunyà.

També s'han observat canvis estructurals molt enorrajadors a les economies i els sistemes energètics. La capacitat instal·lada d'energia eòlica va assolir els 370 GW el 2014, amb 51 GW instal·lats tot just aquell any, cosa que equival a la capacitat global total que existia tot just fa un decenni (GWEC, 2015). La capacitat total d'energia solar fotovoltaica instal·lada va passar de 3,7 GW el 2004 a 178 GW el 2014, amb més de quaranta països i regions on el preu de les energies renovables va assolir la paritat amb l'energia generada a partir de combustibles fòssils (IEA, 2015).

Finalment, caldria destacar les emissions associades als canvis d'usos del sòl, que han mostrat una tendència cap a la disminució: mentre que la mitjana del decenni del 1990 va ser de $5,5 \pm 2,9$ Gt CO₂, en el decenni del 2000 va disminuir fins a 4 Gt CO₂ i en el decenni actual s'ha aconseguit una mitjana de 2,9 Gt CO₂ (Le Quéré *et al.*, 2015). L'alentiment dels processos de desforestació al Brasil és el factor que explica aquest fet (Zarin *et al.*, 2016). Malgrat tenir un pes més petit si es compara amb les emissions de combustibles fòssils, té una rellevància molt important en termes d'emissions acumulatives històriques del balanç de carboni.

No obstant això, però, encara s'és molt lluny d'encarriar-se cap a trajectòries que permetin assolir escenaris d'estabilització a temperatures baixes, fins i tot si es volen prendre riscos importants i apostar per tecnologies d'emissions negatives en el futur que no se sap si funcionaran —ni com. No hi ha cap dubte que el progrés assolit fins ara podria servir de plataforma per a passar a una era nova, absolutament necessària, de descarbonització i transformació socioeconòmica molt ràpida. Una continuació progressiva de les bones tendències observades fins ara no aconseguirà els objectius de l'Acord de París.

1.6. Conclusions

Les emissions globals de GEH han augmentat durant més de cent cinquanta anys, particular-

ment des del decenni del 1950 i amb una gran acceleració des de principi del 2000. L'any 2015, les emissions de CO₂ provinents de la crema de combustibles fòssils eren quasi un 60 % més elevades que el 1990, fet que constitueix un creixement sense precedents que coincideix, per cert, amb un període intens de diplomàcia internacional per a mitigar el canvi climàtic.

Això ha comportat que els balanços de carboni per a estabilitzar el clima a nivells d'escalfament global baixos que semblaven raonables i possibles durant el decenni del 1990, quan es van discutir per primera vegada, hagin esdevingut reptes que semblen excepcionals o quasi impossibles d'assolir. Aquest gran repte existeix, fins i tot, si acceptem riscos alts i confiem en tecnologies que encara no existeixen o per a les quals encara no s'ha demostrat l'efectivitat i la viabilitat econòmica.

Tanmateix, la convergència de tendències més positives en aquests últims anys i la creació d'un marc polític molt adequat per a controlar les emissions globals obre una oportunitat única, però molt curta, per a decidir embarcar-nos en una de les transformacions del sistema energètic i socioeconòmic més importants de la història i sense precedents en el passat.

1.7. Recomanacions

Els compromisos nacionals de mitigació sotmesos al Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic per al període 2020-2030 no són suficients per a assolir els objectius del nou Acord de París. Això implica que totes les nacions hauran de revisar els compromisos i fer-los més ambiciosos per a cobrir la distància que existeix entre el que es requereix i el que les nacions han ofert.

Atesa la necessitat d'accelerar tan ràpidament les taxes de mitigació anual, a més de reduir les emissions del sistema energètic, principalment de CO₂, cal explorar totes les opcions disponibles que puguin reduir el forçament radiatiu antropogènic, les quals inclouen les emissions del sistema de producció d'aliments (com ara el metà i els òxids de nitrogen), que sovint no reben prou atenció, i les que actualment augmenten més ràpidament que el CO₂ (Tian *et al.*, 2016). Igualment, la regeneració i el manteniment dels boscos d'arreu del món

seran importants per a aconseguir nivells baixos d'estabilització climàtica.

Tot i que la transformació cap a un món descarbonitzat es veu com una transformació majorment tecnològica, serà impossible aconseguir els nivells de mitigació necessaris sense una transformació del sistema social d'una magnitud similar. Això inclou la manera com treballem, com ens desplaçament i el que mengem, entre altres exemples. Les economies hauran d'esdevenir molt més eficients i menys intenses energèticament, amb una dependència més gran de la producció de serveis que de la producció de béns.

És tan important treballar en la descarbonització domèstica dels països desenvolupats com fer-ho en les economies emergents i menys desenvolupades, proveint-les d'ajuda econòmica, cooperació i transferència de coneixement i de tecnologies per a accelerar els camins de descarbonització. Menys del 40 % de les emissions globals provenen de països desenvolupats i no estan creixent o disminuint. El 60 % de les emissions restants es preveu que seguiran creixent, i moltes de les promeses de mitigació d'aquests països dependran de la disponibilitat d'ajudes exteriors, sense les quals no es realitzaran.

Tots els esforços de mitigació han de ser coherents amb els principis del desenvolupament sostenible. Més dels cent noranta països que van aprovar l'Acord de París el mes de desembre del 2015 també van aprovar l'Agenda 2030 per al desenvolupament sostenible tot just tres mesos abans (amb els disset objectius de sostenibilitat globals). Cal recordar que l'any 2030 finalitza el primer període de mitigació de l'Acord de París. Això inclou les provisions necessàries per a adaptar-se al canvi climàtic que ja ha ocorregut i que, inevitablement, ocorrerà.

Referències bibliogràfiques

- BUTLER, J.; MONTZKA, S. (2015). «The NOAA anual greenhouse gas index (AGGI)» A: *NOAA Earth System Research Laboratory* [en línia]. <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>> [Consulta: 25 gener 2016].
- CANADELL, J. G.; LE QUÉRÉ, C.; RAUPACH, M. R. [et al.] (2007). «Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, p. 18866-18870, DOI: 10.1073/pnas.0702737104.
- CANADELL, J. G.; RAUPACH, M. R. (2008). «Managing forests for climate change mitigation». *Science*, 320, p. 1456-1457. DOI: 10.1126/science.1155458.
- CANADELL, J. G.; SCHULZE E.-D. (2014). «Global potential of biospheric carbon management for climate mitigation». *Nature Communications*, 5, 5282, p. 1-12. DOI: 10.1038/ncomms6282.
- CDIAC = CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER (2015). *Global Carbon Project* [en línia]. <<http://cdiac.ornl.gov/GCP>> [Consulta: 25 gener 2016].
- CIAIS, P.; SABINE, C.; BALA, G. [et al.] (2013). «Carbon and other biogeochemical cycles». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter06_FINAL.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- CLARKE L.; JIANG, K.; AKIMOTO, K. [et al.] (2014). «Assessing transformation pathways». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició d'O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter6.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- Climate action tracker* [en línia] (2015). <http://climateactiontracker.org/assets/publications/briefing_papers/CAT_Temp_Update_COP21.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- COLLINS, M.; KNUZZI, R.; ARBLASTER, J. [et al.] (2013). «Long-term climate change: Projections, com-

- mitments and irreversibility». A: IPCC= INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- DAVIS, S. J.; CALDEIRA, K.; MATTHEWS, H. D. (2010). «Future CO₂ emissions and climate change from existing energy infrastructure». *Science*, 329, p. 1330-1333.
- DLUGOKENCKY, E.; TANS, P. (2015). «Trends in atmospheric carbon dioxide». A: NOAA Earth System Research Laboratory [en línia]. <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>> [Consulta: 25 gener 2016].
- FUSS, S.; CANADELL, J. G.; PETERS, G. P. [et al.] (2014). «Betting on negative emissions». *Nature Climate Change*, 4, p. 850-853.
- GCP = GLOBAL CARBON PROJECT (2015a). *Global carbon atlas* [en línia]. <<http://www.globalcarbonatlas.org>> [Consulta: 25 gener 2016].
- (2015b). *Global carbon budget 2015* [en línia]. <<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget>> [Consulta: 25 gener 2016].
- GWEC = GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (2015). *Global wind report: Annual market* [en línia]. <<http://go.nature.com/soCk1e>> [Consulta: 25 gener 2016].
- HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R. [et al.] (2013). «High-resolution global maps of 21st-century forest cover change». *Science*, 342, p. 850-853.
- IEA = INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2015). *Snap-shot of global PV markets 2014* [en línia]. <<http://go.nature.com/9BFh4O>> [Consulta: 25 gener 2016].
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013). «Summary for policymakers». A: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- LE QUÉRÉ, C.; MORIARTY, R.; ANDREW, R. M. [et al.] (2015). «Global carbon budget 2015». *Earth System Science Data*, 7, p. 349-396.
- LLEBOT, J. E. (ed.) (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans.
- LUNT, M. F.; RIGBY, M.; GANESAN, A. L. [et al.] (2015). «Reconciling reported and unreported HFC emissions with atmospheric observations». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, p. 5927-5931.
- MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F.-M. [et al.] (2013). «Anthropogenic and natural radiative forcing». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf> [Consulta: 25 gener 2016].
- OCCC = OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2015). *Memòria explicativa de la contribució prevista d'àmbit nacional de Catalunya*. Barcelona: Oficina Catalana del Canvi Climàtic.
- PETERS, G. P.; ANDREW, R. M.; BODEN, T. [et al.] (2013). «The challenge to keep global warming below 2 °C». *Nature Climate Change*, 3, p. 4-6. DOI: 10.1038/nclimate1783.
- PETERS, G. P.; ANDREW, R. M.; SOLON, S. [et al.] (2015). «Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions». *Environmental Research Letters*, 10, p. 105004.
- RAUPACH, M. R.; GLOOR, M.; SARMIENTO, J. L. [et al.] (2014). «The declining uptake rate of atmospheric CO₂ by land and ocean sinks». *Biogeosciences*, 11, p. 3453-3475.

- RAUPACH, M. R.; DAVIS, S. J.; PETERS, G. P. [et al.] (2014). «Sharing a quota on cumulative carbon emissions». *Nature Climate Change*, 4, p. 873-879. DOI: 10.1038/NCLIMATE2384.
- ROGELJ, J.; MICHIEL SCHAEFFER, M.; FRIEDLINGSTEIN, P. [et al.] (2016). «Differences between carbon budget estimates unraveled». *Nature Climate Change*, 6, p. 245-252. DOI: 10.1038/NCLIMATE2868.
- SMITH, P.; DAVIS, S. J.; CREUTZIG, F. [et al.] (2016). «Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions». *Nature Climate Change*, 6(1), p. 42-50.
- TIAN, H.; LU, C.; CIAIS, P. [et al.] (2016). «The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere». *Nature*, 531, p. 525-228.
- UNFCCC = UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (2015a). *Adoption of the Paris agreement* [en línia]. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. <<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>> [Consulta: 25 gener 2016].
- (2015b). *Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions* [en línia]. FCCC/CP/2015/7. <http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php> [Consulta: 25 gener 2016].
- WMO = WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION [en línia]. <<https://www.wmo.int>> [Consulta: 25 gener 2016].
- ZARIN, D.J.; HARRIS, N. L.; BACCINI, A. [et al.] (2016). «Can carbon emissions from tropical deforestation drop by 50 % in 5 years?» *Global Change Biology*, 22, p. 1336-1347.

2 **Balanç de carboni: emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya**

Autor

José M. Baldasano Recio

José M. Baldasano Recio és llicenciat i doctor en ciències químiques per la Universitat de Barcelona, enginyer químic per l'Institut Nacional Politècnic de Tolosa (França) i màster en enginyeria química per la Universitat de Sherbrooke (Quebec, Canadà). És catedràtic en enginyeria ambiental a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Va ser responsable del programa de doctorat en enginyeria ambiental del 1986 al 2006, codirector del màster en enginyeria ambiental del 2007 al 2011 i director de l'Àrea de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center (BSC) del 2005 al 2014. Actualment, orienta les activitats de recerca i desenvolupament (R+D) a la modelització de la qualitat de l'aire i del canvi cli-

màtic i als estudis d'impacte ambiental, és membre del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC), i pertany al consell editorial i és revisor de nombroses revistes científiques internacionals. És autor de 353 publicacions en revistes científiques i tècniques, 425 comunicacions, 217 ponències i 101 conferències, i coeditor i autor de 23 llibres de temes ambientals. Ha dirigit 32 tesis doctorals, ha estat copresident de cinc conferències internacionals sobre temes de medi ambient i ha estat consultor i assessor de més de noranta empreses i administracions. És Premi Rei Jaume I de protecció del medi ambient (1997) i diploma de l'IPCC per la contribució al Premi Nobel de la Pau (2007).

Sumari

Síntesi	47
2.1. Introducció	48
2.2. Emissions mundials, de la UE i d'Espanya	48
2.2.1. Emissions mundials	48
2.2.2. Europa	50
2.2.3. Espanya	52
2.3. Evolució de les emissions a Catalunya: 1990-2013	53
2.3.1. Població	54
2.3.2. Producte interior brut	55
2.3.3. Emissions de GEH	56
2.3.4. Emissions de GEH per sectors	57
2.3.5. Emissions sotmeses a directiva i emissions difuses	58
2.4. Compliment del Protocol de Kyoto: 2008-2012	59
2.4.1. UE-15	59
2.4.2. Espanya	60
2.4.3. Catalunya	60
2.5. COP21 - l'Acord de París 2015: INDC	61
2.6. Conclusions	62
2.7. Recomanacions	62
Referències bibliogràfiques	62

Síntesi

D'ençà de la revolució industrial, les emissions de GEH han augmentat exponencialment. Entre el 1750 i el 2011, les emissions de CO₂ procedents dels combustibles fòssils i de la producció de ciment s'estimen en 1.370 Gt CO₂, i les procedents de la desforestació, en 660 Gt CO₂. L'emissió mitjana *per capita* és de 4,56 t CO₂ any⁻¹, i el sector energètic en representa el 67 %. Des del principi de la industrialització ha existit una forta vinculació entre el creixement econòmic i les emissions de CO₂. A la Unió Europea (UE), els GEH es van reduir un 24,4 % del 1990 al 2014; únicament els causats pel transport van créixer d'una manera gradual. Les emissions de GEH a la UE-15 per al període de Kyoto van ser de 3.760 Mt CO₂ equiv., i el règim de comerç de drets d'emissió (EU ETS) n'abasta el 45 %. La UE s'encamina cap a la superació de l'objectiu per a l'any 2020 (20 %) de reduir les emissions de GEH un 24 %. A Espanya, les emissions per al període de Kyoto van ser de 358,4 Mt CO₂ equiv., a causa de la recessió econòmica i del canvi en la distribució de combustibles usats en la generació d'electricitat i l'ús de carbó. El CO₂ presenta la contribució més gran, amb valors del 80 al 85 %. Per sector d'activitat, destaca clarament el grup de l'energia (77 %).

Les emissions de Catalunya representen el 13,3 % del total de les emissions espanyoles per a l'any 2013, sent la població de Catalunya el 16 % de l'espanyola i el producte interior brut (PIB), el 19 %. S'ha passat de 39,2 Mt CO₂ equiv. l'any 1990 a 42,8 Mt CO₂ equiv. l'any 2013, cosa que representa un augment del 9,2 % a causa de la recessió econòmica i de la contracció de l'activitat socioeconòmica i energètica, per raons circumstancials i no per canvis estructurals. L'any 2013, Catalunya va tenir unes emissions per habitant

de 5,7 t CO₂ equiv., i el CO₂ va ocupar una posició dominant amb un 77 %. El sector «processament d'energia» és el que genera més quantitat d'emissions (70 % l'any 2013), i l'activitat de combustió amb més emissions és el «transport», amb un augment del 9,7 % en el període 1990-2013 (que representa un 27,3 % el 2013). L'any 2012, el 30,8 % corresponen a les emissions de les instal·lacions sotmeses al comerç de drets d'emissió, i el 69,2 % restant són degudes als sectors difusos. La comparació de les dades d'emissió de GEH amb el PIB indica que aquest índex disminueix en el període 1990-2013; per a Catalunya, s'estima en 685 t CO₂ equiv./M€ per a l'any 1990 i en 217 per a l'any 2013, és a dir, una reducció del 70 %. Per a la UE-28, aquesta ràtio se situa en un valor de 360 l'any 2012.

Per a la UE-15, el Protocol de Kyoto implicava reduir un 8 % les emissions de GEH durant el període 2008-2012, però la reducció mitjana va ser d'11,8 % per sota de l'any base. Per a Espanya, el compromís era no superar un augment del 15 %, però l'ha sobrepassat en 8,7 punts. En el cas de Catalunya, les emissions totals representen un 1,3 % per sobre del 15 %, i la mitjana d'emissions difuses per al període 2008-2012 va ser de 30,6 Mt CO₂ equiv., cosa que significa, des d'aquesta perspectiva, que compleix amb el compromís del Protocol de Kyoto.

L'evolució de les emissions de GEH a Catalunya es deu, principalment, a la dinàmica del cicle econòmic i no pas a una política de reducció. Tot i que hi ha hagut esforços de reducció, caldria que augmentessin d'una manera decidida. Com a mínim, les accions indicades per la UE per a l'any 2030.

Paraules clau

emissions, GEH, Protocol de Kyoto, Catalunya, Espanya, Unió Europea

2.1. Introducció

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic va ser aprovat el 9 de maig del 1992 i va entrar en vigor el 21 de març del 1994. L'objectiu últim d'aquest conveni és l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) a l'atmosfera a un nivell que eviti interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic.

En aquests moments, hi ha l'acord polític que l'increment de la temperatura superficial mitjana no hauria de ser superior a 2 °C (COP16; Cancún, 2010). Aquest nivell s'hauria d'aconseguir en un termini de temps suficient perquè els ecosistemes s'adaptin naturalment al canvi climàtic i per a permetre que el desenvolupament econòmic continuï d'una manera sostenible. En conseqüència, és necessari conèixer la tendència i les fonts d'emissió dels GEH a fi de poder definir les accions de reducció i la prioritització.

Els GEH directes més rellevants, tenint en compte l'efecte combinat de la quantitat de les emissions i del potencial específic d'escalfament, són: en primer lloc, el diòxid de carboni (CO₂); en segon lloc, el metà (CH₄) i l'òxid nitrós (N₂O), i, amb una contribució inferior, els gasos fluorats, com ara els hidrofluorocarburs (HFC), els perfluorocarburs (PFC) i l'hexafluorur de sofre (SF₆). Des de la COP18 (Doha, 2012) s'hi ha incorporat el trifluorur de nitrogen (NF₃), tot i que a Catalunya les emissions no són significatives.

Els inventaris d'emissions de GEH tenen un paper molt important en els objectius ambientals del Conveni marc i del Protocol de Kyoto (PK). Aquests inventaris han de ser transparents, ben documentats, consistents i comparables entre si. Per aquest motiu, el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) ha desenvolupat un conjunt de guies tècniques que incorporen una metodologia de càlcul i de comunicació de resultats que les parts han de seguir per a la presentació oficial de les emissions de GEH.

La metodologia de l'IPCC diferencia la contribució dels sectors d'activitats següents: 1) energia, 2) sector industrial, 3) ús de solvents i altres productes, 4) agricultura, 5) canvis en els usos del

sòl i activitats forestals, i 6) residus. Cadascun d'aquests sectors es divideix en subsectors, segons la importància relativa.

En aquest capítol es presenten i s'analitzen els resultats de l'evolució general i per sectors de les tendències de les emissions de GEH a Catalunya en el període 1990-2013, i es fa una comparació amb les emissions mundials, de la UE i d'Espanya dels inventaris fets amb les metodologies definides per les guies de l'IPCC.

Per al càlcul del CO₂ equivalent (CO₂ equiv.) dels GEH (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC i SF₆), s'han utilitzat els potencials d'escalfament global a cent anys (IPCC, 1995 i 2007), que es mantenen vàlids per a l'avaluació del compliment del PK, però hi ha altres horitzons de temps i altres indicadors de l'escalfament global que també mereixen atenció.

Les dades d'emissions utilitzades en aquest capítol provenen, en el cas de Catalunya, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic; en el cas d'Espanya, de la Secretaria d'Estat de Canvi Climàtic, i en el cas de la UE, de l'Agència Europea del Medi Ambient (EEA). Les emissions s'expressen en termes de CO₂ equiv., i es calculen ponderant la massa de cada GEH amb el potencial d'escalfament global (PEG) corresponent. Els PEG utilitzats fins a l'any 2012 són els indicats en el *Segon informe d'avaluació* (SAR), del 1995; per als anys posteriors es fan servir els indicats en el *Quart informe d'avaluació* (AR4), del 2007, d'acord amb la Decisió 24/CP.19 i la Decisió 15/CP.17 de les Conferències de les Parts i el Reglament 666/2014 de la Comissió Europea.

2.2. Emissions mundials, de la UE i d'Espanya

2.2.1. Emissions mundials

D'ençà de la revolució industrial (mitjan segle XVIII), les emissions de GEH a escala mundial han augmentat exponencialment (figura 2.1). Els increments en l'emissió de CO₂ són deguts, principalment, a la utilització de combustibles fòssils i a la producció de ciment, i en menys grau als canvis en els usos del sòl. Per contra, l'augment del CH₄ va lligat a l'augment massiu del nombre de remugants, a les emissions procedents de l'extracció i l'ús de combustibles fòssils, a l'expansió del cultiu de l'arròs i

a la generació i deposició dels residus. L'increment en la concentració de N_2O és degut, principalment, a les quantitats emeses tant des de terra com des del mar (IPCC, 2013). És a dir, l'activitat humana propicia l'increment actual i accelerat de les emissions de GEH.

Entre el 1750 i el 2011, la crema de combustibles fòssils i la producció de ciment són les responsables de l'emissió de 1.370 Gt CO_2 (CDIAC, 2015). En el període 2002-2011, les emissions van ser de 30,3 Gt CO_2 any⁻¹, amb una taxa de creixement mitjana anual del 3,2%. Aquesta taxa d'augment de les emissions de combustibles fòssils és més gran que la del decenni del 1990 (0,8%). *Per capita*, les emissions de GEH són molt desiguals, amb una emissió mitjana de 4,56 t CO_2 any⁻¹.

El sector energètic representa gairebé dues terceres parts del total de les emissions, i en els països desenvolupats el percentatge s'incrementa fins a tres quartes parts. El 2013, les emissions mundials de CO_2 procedents de l'ús de combustibles van ser de 32,2 Gt, cosa que implica un augment

del 2,2% per sobre dels nivells del 2012 (aquest any l'increment va ser només del 0,6%), encara que més petit a la taxa mitjana observada des del 2010 (2,5%). El 2013, com en anys anteriors, l'augment de les emissions de CO_2 es deu als països emergents; les emissions, més per l'ús de carbó i menys pel de petroli, van augmentar en un valor mitjà del 4%, sent un 2,8% l'any 2012. Als països desenvolupats, hi va haver un descens de l'1,1% per l'ús de petroli i un increment de l'1,4% pel de gas natural. El 2013, dos terços de les emissions es deuen essencialment a deu països, amb la Xina i els Estats Units amb el 28% i el 16% del total, respectivament. Per ordre decreixent, la llista es completa amb l'Índia, Rússia, el Japó, Alemanya, Corea del Sud, el Canadà, l'Iran i l'Aràbia Saudita.

Entre el 1750 i el 2011, el canvi de l'ús del sòl (principalment per desforestació), derivat de les dades de cobertura de la terra, s'estima que ha causat 660 Gt CO_2 . Les emissions de canvi d'ús de la terra entre el 2002 i el 2011 són dominades per la desforestació tropical i s'estimen en 3,3 Gt CO_2 any⁻¹ (IPCC, 2013).

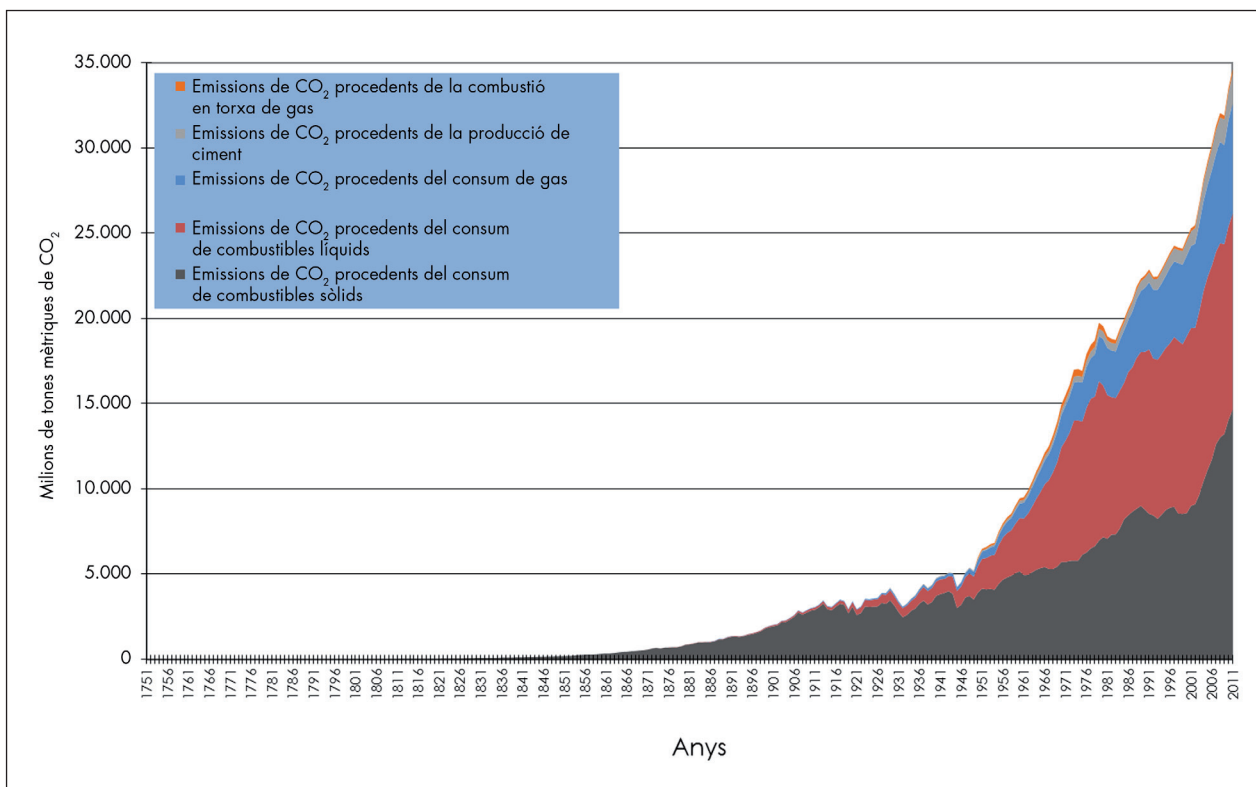


FIGURA 2.1. Evolució de les emissions de CO_2 mundials per al període 1751-2011 causades per la combustió de combustibles fòssils i la fabricació de ciment i torxes.

Font: CDIAC, 2015.

Les emissions totals de GEH antropogèniques han augmentat un 80 % des del 1970 i un 45 % des del 1990, fins a assolir la quantitat de 54 Gt CO₂ equiv. el 2013. En el decenni 2000-2010 han augmentat més ràpidament que en els tres decennis anteriors, amb un ritme actual del 2,2 % per any. Si es manté aquest ritme, l'increment de la temperatura es podria situar entre 3,7 i 4,8 °C per a l'any 2100.

El CO₂ segueix sent el principal GEH amb el 77 % de les emissions totals (IPCC, 2014). La figura 2.2 indica la distribució de les emissions mundials de GEH segons el gas, la font i el país.

Des del principi de la industrialització, s'ha mantingut una forta vinculació entre el creixement econòmic i les emissions de CO₂. Durant els últims cinquanta anys, s'ha observat diverses vegades una disminució de les emissions de CO₂ en relació amb l'estancament econòmic, però sense uniformitat entre les diferents àrees econòmiques. Les dades d'emissions dels últims anys (a partir de l'any 2008) indiquen que la crisi econòmica mundial actual ha reduït momentàniament les emissions mundials, però no hi ha cap canvi de la tendència a llarg termini. Els esforços de mitigació són vitals per a accelerar un desacoblament per tal d'assolir l'objectiu dels 2 °C.

Els països amb economies desenvolupades i els països amb economies emergents fan progressos per a combatre el canvi climàtic; però la reducció d'emissions de GEH es queda curta amb relació a les fites acordades per a mitigar l'escalfament global. Les emissions mundials s'han de reduir d'un 40 a un 70 % per al 2050 respecte a l'any 1990, i s'han d'acostar a valors zero per al 2100, per tal d'intentar que la temperatura del planeta no superi els 2 °C d'augment.

2.2.2. Europa

L'any 2014, les emissions de GEH de la UE més Islàndia van ser un 24,4 % inferiors a les de l'any 1990 (emissions totals de GEH sense LULUCF i incloent-hi el CO₂ indirecte, a causa de l'oxidació atmosfèrica de CH₄, CO i NMCOV). Les estimacions preliminars mostren una caiguda addicional de 185,4 kt CO₂ equiv. entre el 2013 i el 2014 (figura 2.3). Per a la UE-15, les emissions mitjanes entre

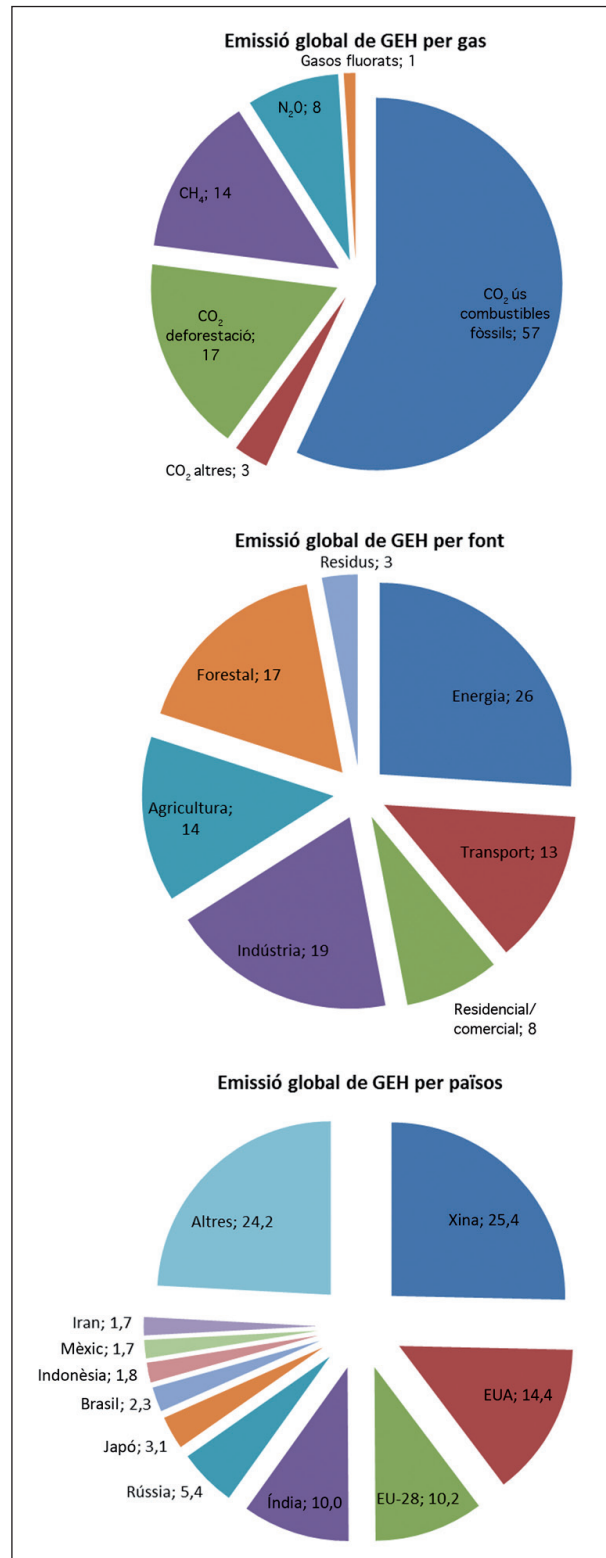


FIGURA 2.2. Distribució de les emissions mundials de GEH, per gas, per font i per països.

Font: EPA, <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>.

el 2008 i el 2012 van ser de l'11,8 % per sota dels nivells de l'any base (EEA, 2015a).

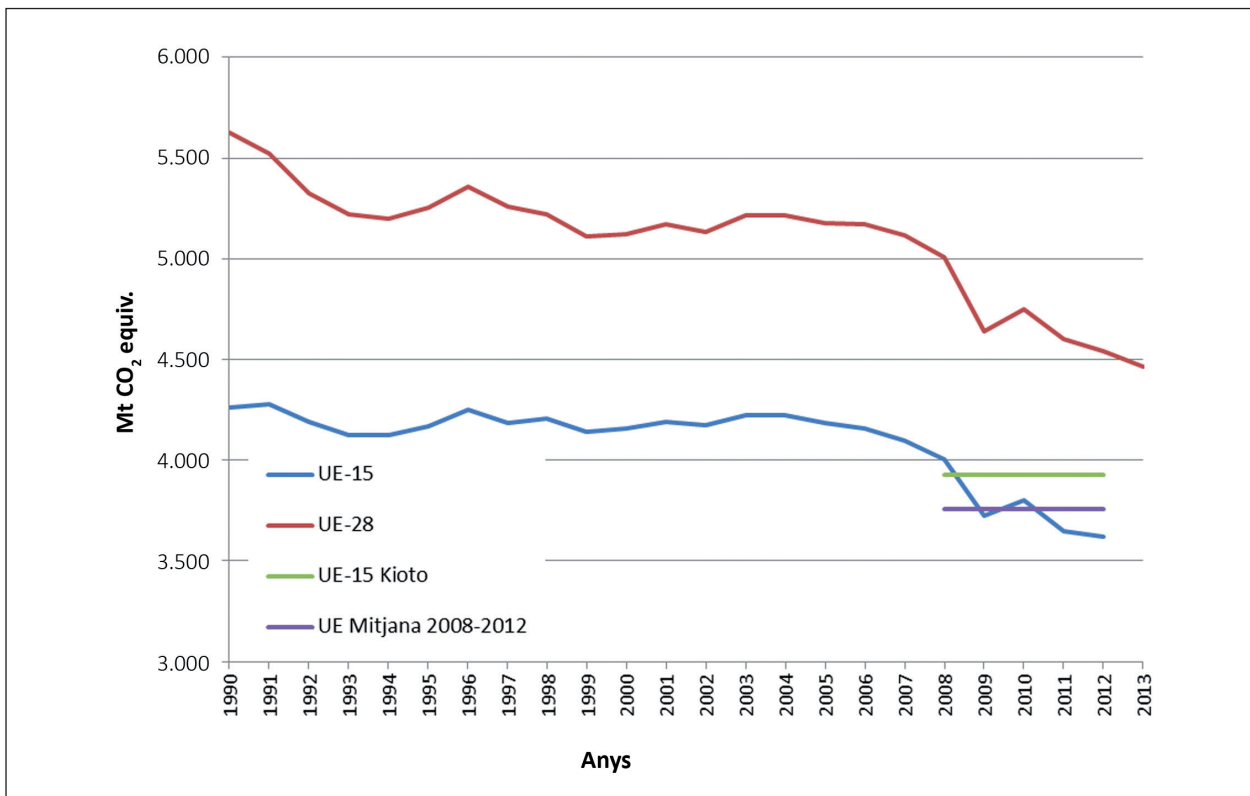


FIGURA 2.3. Emissions de GEH de la UE-15 i de la UE-28 en el període 1990-2013.

Font: EEA.

Els informes de l'EEA mostren que els GEH es van reduir en la major part dels sectors entre el 1990 i el 2012, «amb la notable excepció del transport». Les emissions del transport van créixer d'una manera gradual entre el 1990 i el 2007, però van descendir en els cinc anys següents. El transport per carretera és la segona font més gran d'emissions a la UE: el 18 % del total de l'any 2012 (figura 2.4). El sector de les manufactures i la construcció

va ser el que va reduir més emissions en termes absoluts, fet que s'atribueix, entre altres coses, a l'augment de l'eficiència de les plantes de ferro i acer. La producció d'electricitat i calor va ser el segon sector amb més reducció, i el segueixen els sectors residencial i comercial. Els últims dos dècennis, l'eficiència energètica ha millorat molt, amb un aïllament més bo als edificis i una combinació energètica més baixa en carboni.

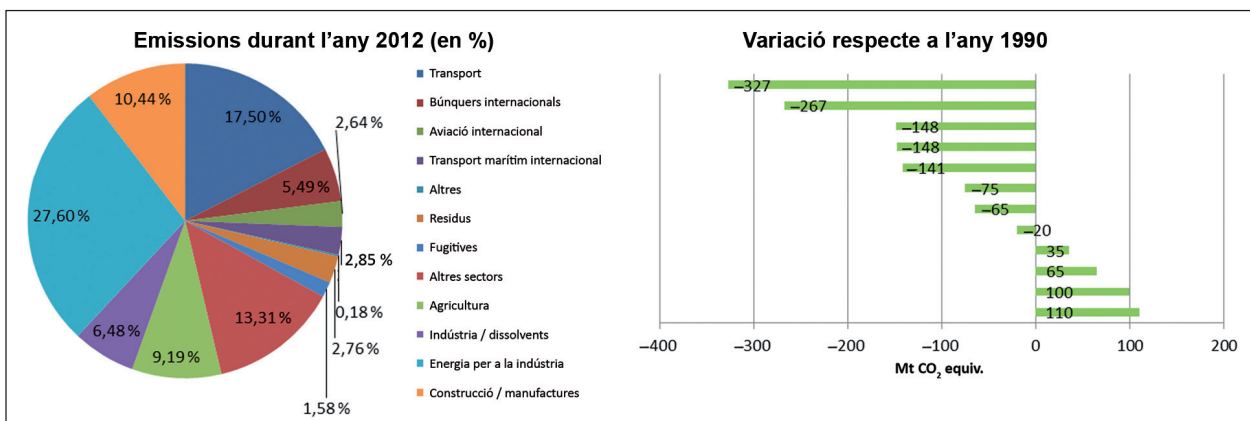


FIGURA 2.4. Emissions de GEH de la UE per sectors.

Font: EEA.

Molts factors expliquen l'augment o el descens de les emissions. Tant la població, que ha augmentat en 31 milions des del 1990, com el PIB *per capita*, que a la UE va créixer un 36 % entre el 1990 i el 2012, tenen un efecte negatiu. En canvi, la transició a combustibles i energies amb menys contingut de carboni (principalment, GN i renovables) ha reduït el percentatge de CO₂ un 16 % en el sector de l'energia els darrers vint-i-dos anys.

El règim de comerç de drets d'emissió de la UE (UE-ETS) abasta aproximadament el 45 % de les emissions totals de GEH de la UE. Les emissions de les instal·lacions incloses en l'ETS es va reduir un 24 % entre el 2005 i el 2014. El nivell d'emissió assolit el 2014 va ser el més baix des del 2005, quan es va posar en marxa el sistema. També va ser superior a l'objectiu de reducció del 21 % per a l'any 2020. Entre el 2013 i el 2014, les emissions van disminuir un 5 % (EEA, 2015b).

La UE s'encamina cap a l'assoliment i la superació de l'objectiu per a l'any 2020 de reduir les emissions de GEH un 20 %, segons dades de l'EEA

(2015c). L'informe revela que les emissions de GEH a Europa van disminuir un 23 % entre el 1990 i el 2014, i es van situar en els nivells més baixos que es coneixen. Les projeccions més recents per a estat membre mostren que la UE, amb les mesures en vigor actualment, s'encamina cap a una reducció del 24 % per a l'any 2020 i a una reducció del 25 % amb les mesures complementàries que els estats membres ja planifiquen. La UE treballa per aconseguir la fita del 2030, que consisteix en un objectiu de reducció de les emissions d'almenys el 40 %: serà la contribució de la UE al nou acord global sobre el canvi climàtic que s'espera surti de la COP21 que està previst que se celebri a París el desembre del 2015.

2.2.3. Espanya

L'evolució de les emissions de GEH (sense LU-LUCF) a Espanya en el període 1990-2013 s'han representat a la figura 2.5. En termes de tendència, l'interval 1990-2007 es caracteritza per un creixement continuat. A més de l'expansió de l'activitat econòmica general i del consum de combustibles fòssils, la variabilitat es relaciona amb la producció

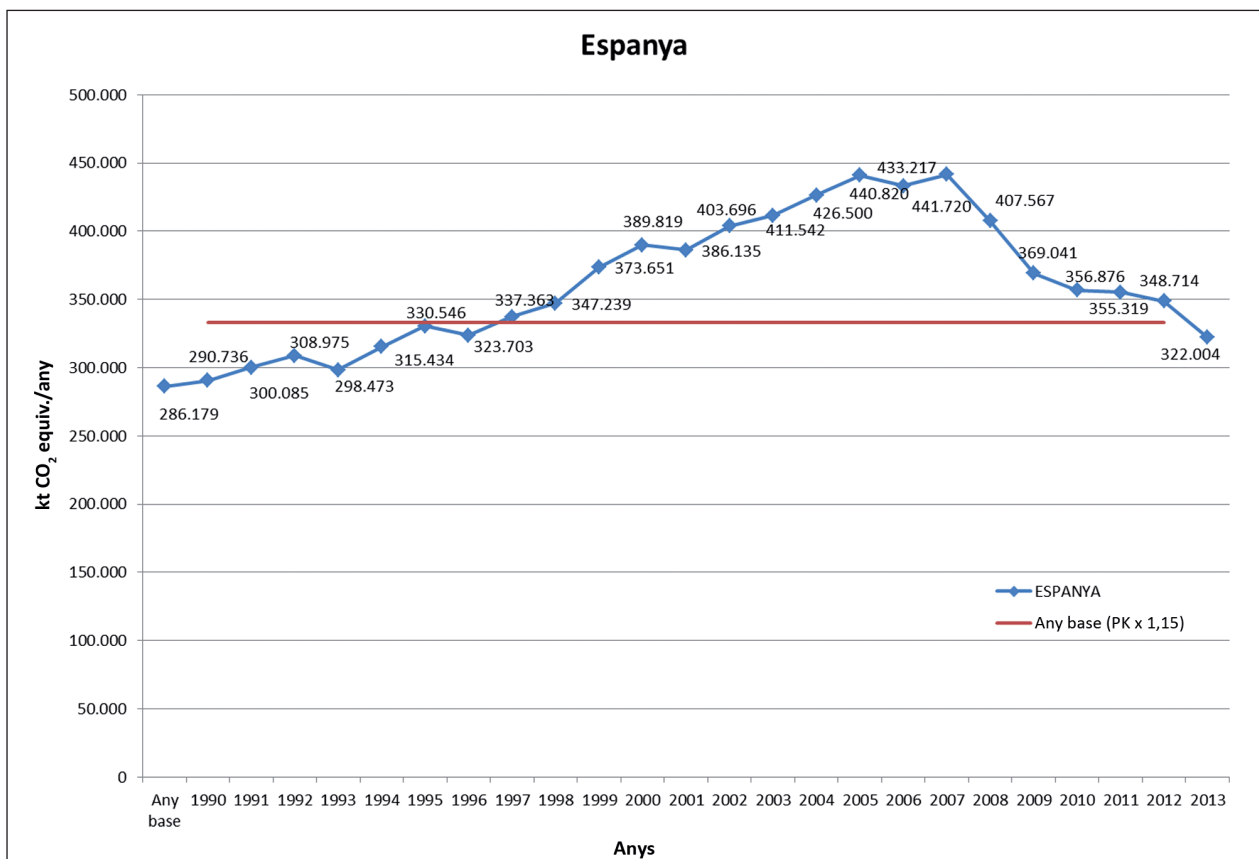


FIGURA 2.5. Evolució de les emissions de GEH (sense LULUCF) a Espanya en el període 1990-2013.

elèctrica d'origen hidràulic respecte a la d'origen tèrmic. El descens tan acusat que es produeix en els anys 2008, 2009 i 2010 es deu a la combinació de dos factors: principalment, la recessió econòmica i el canvi en la distribució de combustibles usats en la generació d'electricitat i l'ús de carbó. Després, passa a un comportament horitzontal el 2011 i el 2012 (MAGRAMA, 2014).

En l'anàlisi per tipus de GEH, el CO₂ presenta la contribució més gran, amb valors del 80 al 85 % al llarg del període considerat (1990-2013) i amb un creixement clar fins a l'any 2007, amb una caiguda posterior. El CH₄ va variar d'un 7,5 a un 9,5 %, amb un creixement més moderat però més sostingut; i el N₂O, d'un 6 a un 9,5 %, amb un augment fins a l'any 2000 i una disminució posterior. Els gasos fluorats se situen entre l'1,2 i el 2,5 % en termes mitjans amb un creixement general sostingut.

Per sector d'activitat, en primer lloc destaca la contribució dominant del grup de l'energia, amb percentatges del 74,6 % l'any 1990 al 77,9 % l'any 2012, i amb un valor del 77,8 % per al quinquenni

2008-2012, en part a causa de l'ús de carbó en el mix elèctric. El 2013, la generació d'electricitat va comportar un 23 % del total de les emissions, mentre que el transport en va generar un 25 %. En segon lloc, hi ha l'agricultura, amb valors que varien del 13,3 % per a l'any 1990 a l'11,1 % per a l'any 2012, i al 10,7 % per al període 2008-2012. El tercer grup són els processos industrials, la contribució dels quals disminueix del 9,1 % l'any 1990 al 6,9 % l'any 2012, i al 7,5 % per al període 2008-2012. Els residus mostren una pauta creixent i sostinguda, que varia del 2,5 % l'any 1990 al 3,8 % l'any 2012, amb una mitjana del 3,6 % en els anys 2008-2012.

2.3. Evolució de les emissions a Catalunya: 1990-2013

Aquesta anàlisi se centra en les emissions de GEH per al període 1990-2013 (figura 2.6). Les emissions de CO₂ equiv. han tingut una tendència irregular però sostinguda de creixement des de l'any 1990 (39,2 Mt CO₂ equiv.) fins a l'any 2005 (amb 59,6 Mt CO₂ equiv., que representen un increment del 52,3 %). Els anys 2006 i 2007 van baixar lleugerament i els valors es van estabilitzar (amb 58 Mt CO₂ equiv., que representen un increment

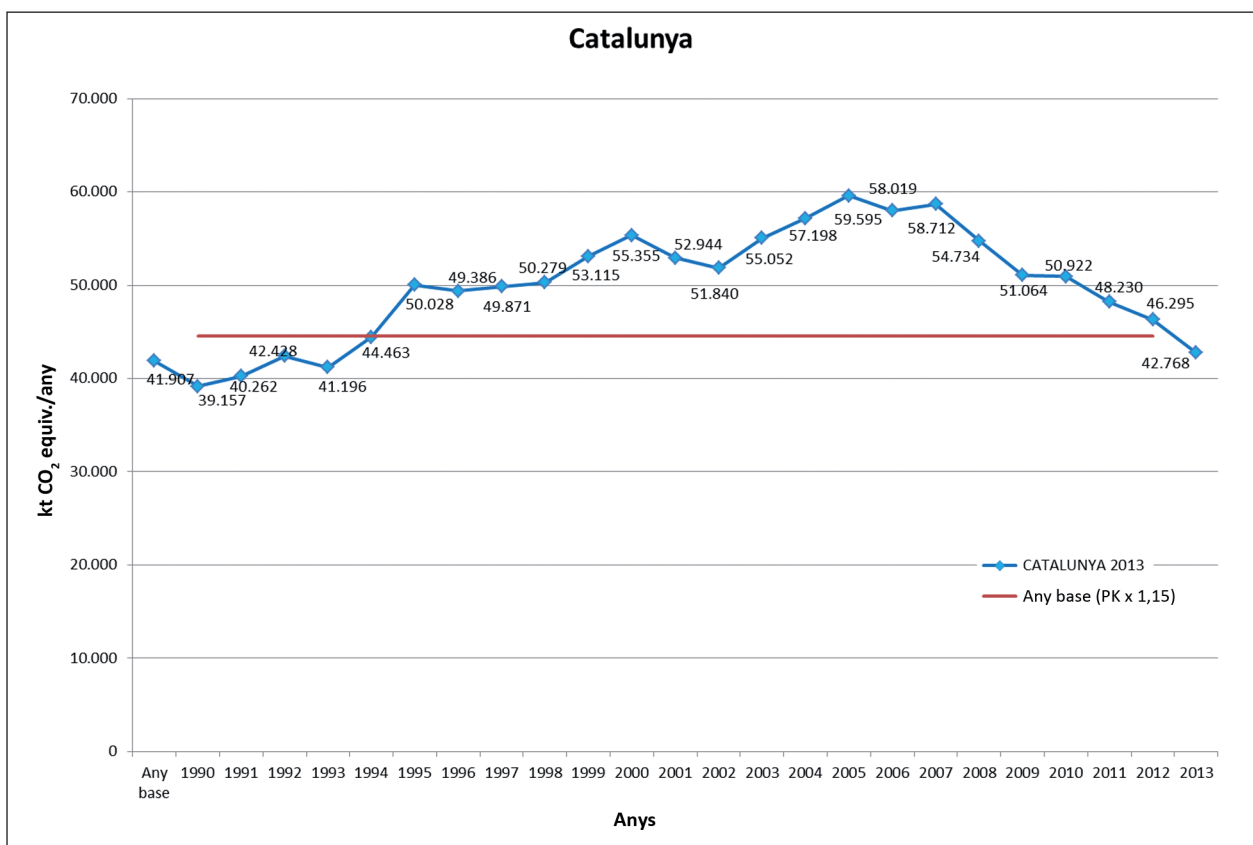


FIGURA 2.6. Evolució de les emissions de GEH (sense LULUCF) a Catalunya en el període 1990-2013.

del 50 %), mentre que en el període 2008-2013 han disminuït fins al 19,4 % respecte a l'any base, amb 42,8 Mt CO₂ equiv. l'any 2013. Des del 1990, les emissions de GEH s'han incrementat un 9,2 %, essencialment a causa de la crisi econòmica i de la contracció de l'activitat socioeconòmica i energètica. És a dir, per raons circumstancials i no pas a causa de canvis estructurals provocats per una actuació estratègica.

Les emissions de Catalunya representen el 13,3 % del total de les emissions espanyoles per a l'any 2013, sent la població de Catalunya el 16 % de l'espanyola i el PIB, el 19 %. Aquest percentatge ha variat en el període de any base (1990-2012), d'un màxim del 15,3 % assolit l'any 1996 a un mínim del 12,8 %, l'any 2002.

2.3.1. Població

L'any 2013, el nombre d'habitants a Catalunya se situa en 7.553.650 habitants i representa el 16 % de la població d'Espanya, amb 47.129.783 habitants. L'evolució mostrada en ambdós casos és

similar; tant a Catalunya com a Espanya el nombre d'habitants ha crescut entre els anys 1990 i 2013, tot i que per a Catalunya aquest increment ha estat lleugerament més gran (figura 2.7). En aquest període, la població de Catalunya s'ha incrementat un 22,8 %, mentre que a Espanya ho ha fet un 18,5 %. L'evolució es força similar fins a l'any 2000, amb increments de l'1,5 % en el cas d'Espanya i de l'1,6 % en el cas de Catalunya, respecte de la població del 1990. No obstant això, a partir del 2000 fins al 2013 l'increment de la població de Catalunya ha estat superior al d'Espanya. En aquest període, la ràtio de població entre Catalunya i Espanya ha variat de 15,4 a 16,0.

A Catalunya, per a l'any 1990 s'estimen unes emissions de 6,4 t CO₂ equiv. per habitant (figura 2.8), que han assolit un valor màxim de 8,8 l'any 2000 i han disminuït a un valor de 5,7 l'any 2013, amb valors superiors a 8 t CO₂ equiv. per habitant entre els anys 1995 i 2007. En el cas d'Espanya, s'estimen unes emissions de 7,3 t CO₂ equiv./hab. per a l'any 1990 i de 6,8 per al 2013.

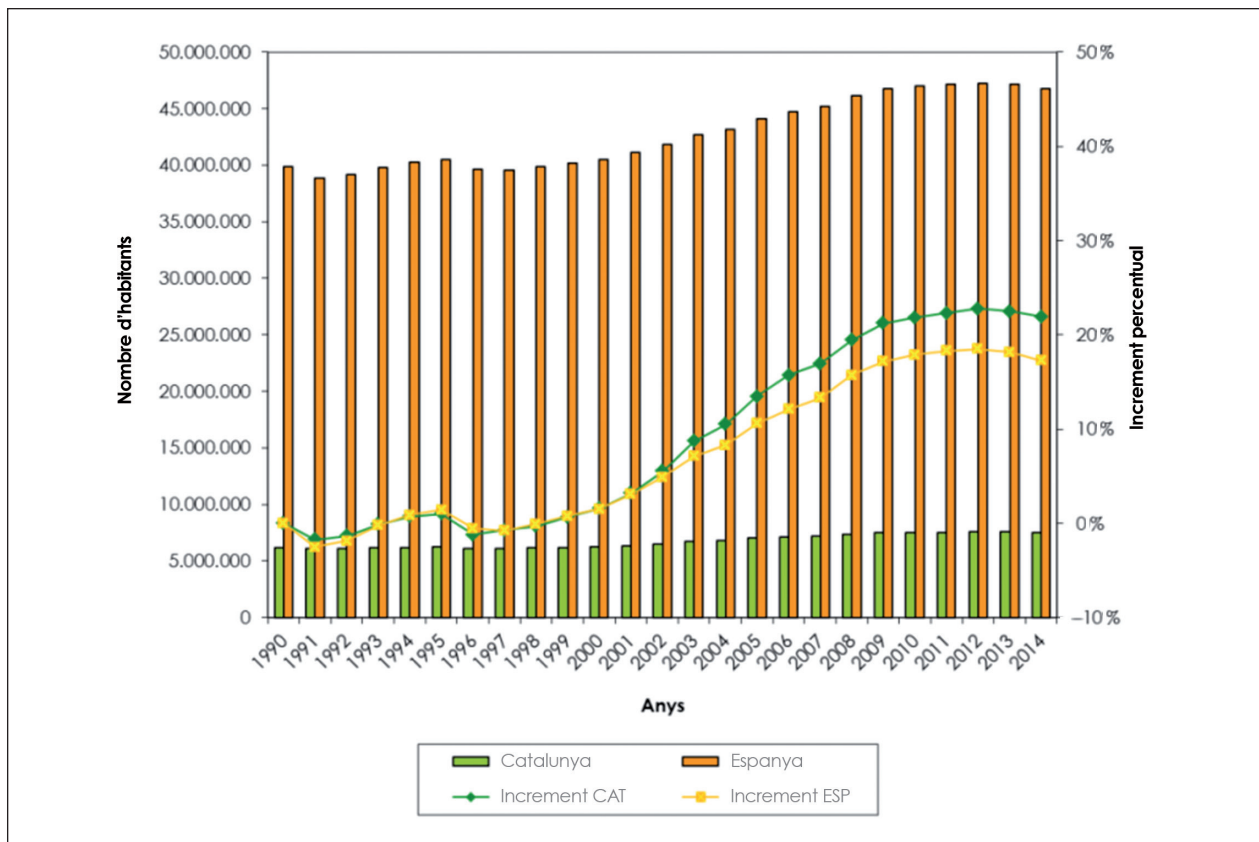


FIGURA 2.7. Evolució de la població a Catalunya i Espanya.

Font: INE, 2015; Idescat, 2015.

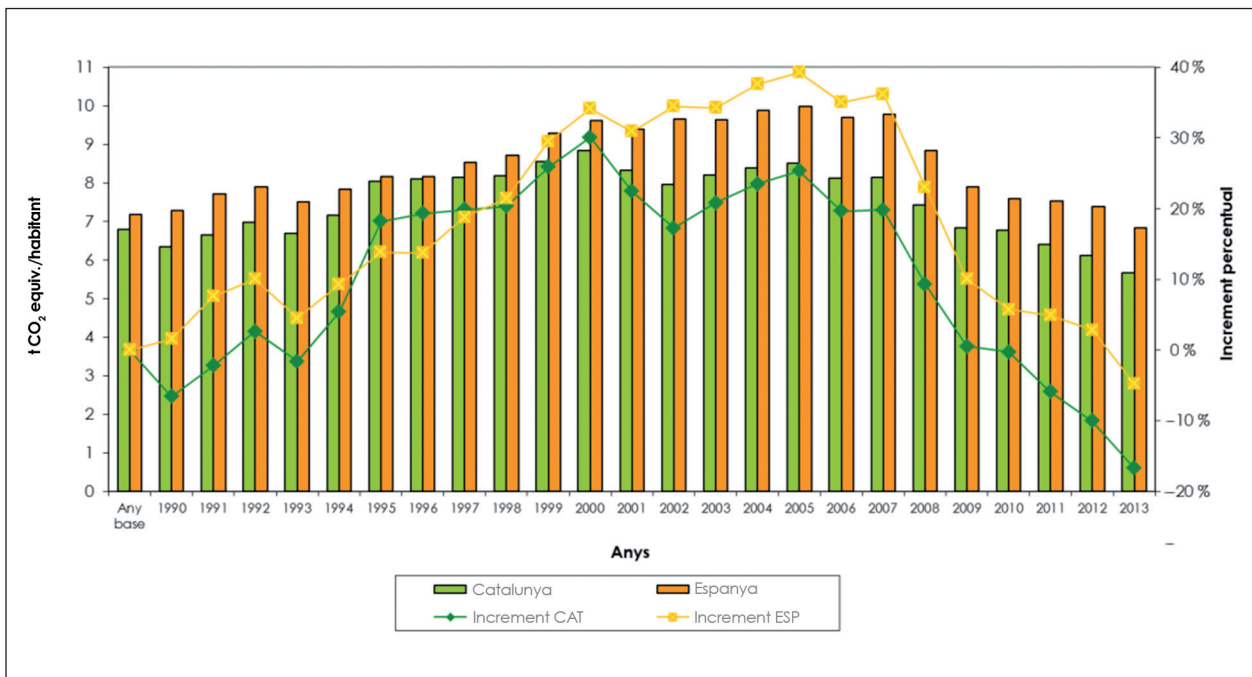


FIGURA 2.8. Evolució de les emissions de GEH per capita a Catalunya i Espanya.

Les emissions *per capita* a Catalunya han disminuït un 10,8 %, mentre que a Espanya la disminució ha estat de 6,3 % entre els anys 1990 i 2013, la qual cosa ha estat causada per dos factors: en primer lloc, el total d'emissions ha augmentat un 9,2 % a Catalunya i un 10,8 % a Espanya i, en segon lloc, la població ha augmentat un 22,5 % a Catalunya i un 18,2 a Espanya.

2.3.2. Producte interior brut

La relació entre les emissions de GEH i el PIB (en paritat de poder de compra, PPC), és un indicador del nivell d'ecoeficiència d'una economia. El resultat d'aquesta relació s'expressa en tones equivalents de CO₂ per milió d'euros. D'aquesta manera, els països que presentin una relació més petita entre ambdues variables, és a dir, que eme-

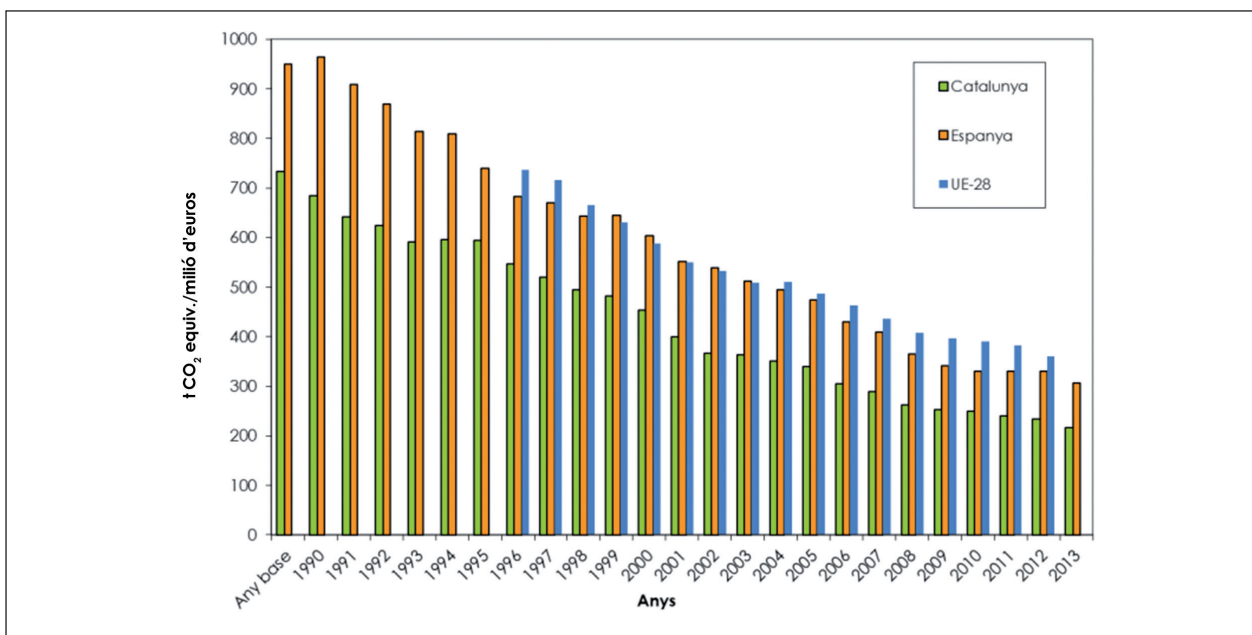


FIGURA 2.9. Evolució de la relació entre les emissions de GEH i el PIB per a Catalunya, Espanya i Europa per al període 1990-2012.

Font: INE, Idescat i Eustat.

tin menys emissions a l'atmosfera per cada unitat de riquesa generada, seran més ecoeficients i, per tant, tindran pautes de producció més sostenibles, cosa que permetrà avançar cap a una societat més descarbonitzada.

La comparació de les dades d'emissió de GEH amb les de PIB (ràtio de tones de CO₂ equivalent per milió d'euros) a Catalunya i Espanya (figura 2.9) indica que aquest índex disminueix en el període d'estudi. En el cas de Catalunya, s'estima en 685 t CO₂ equiv./M€ per a l'any 1990 i en 217 t CO₂ equiv./M€ per a l'any 2012, és a dir, una reducció d'un 68,4 %. Per a Espanya, aquesta xifra ha estat molt equivalent, amb un 68,2 % (de 965 t CO₂ equiv./M€ a 307 t CO₂ equiv./M€); i, per a la UE-28, aquesta ràtio se situa en un valor de 360 l'any 2012. La tendència és molt equivalent, però la ràtio és molt més favorable en el cas de Catalunya en comparació de la mitjana de la UE-28.

Aquestes dades assenyalen que, tot i que les emissions de GEH de Catalunya i Espanya han crescut clarament en el període que analitzem, el PIB que estima el valor de la producció i els serveis ho ha fet molt més (estancament del PIB durant els anys de la crisi econòmica actual). En

aquest període, la ràtio de PIB entre Catalunya i Espanya ha variat de 18,7 a 19,2. La relació entre les emissions i el PIB mostra un descens continuat després de l'arribada de la crisi econòmica, tot i que els últims anys hi ha hagut un estancament d'aquesta ràtio. No obstant això, no es pot parlar d'una ruptura en el procés de desacoblament entre el PIB i les emissions.

2.3.3. Emissions de GEH

S'analitzen les emissions de GEH a Catalunya. La figura 2.10 mostra el total de les emissions i l'evolució temporal per al període 1990-2013.

El CO₂ ocupa una posició clarament dominant pel que fa a les emissions de GEH. El pes relatiu de les emissions respecte del total és del 77,3 % (30.265 kt CO₂ equiv.) per a l'any 1990, augmenta a un màxim de 82,8 % per a l'any 2005 (49.365 kt CO₂ equiv.) i, finalment, la participació l'any 2013 és del 77,0 % (32.932 kt CO₂ equiv.). Aproximadament el 90 % de les emissions són degudes al processament d'energia i al consum de combustibles fòssils en els sectors energètic, del transport i de les indústries, entre d'altres. La resta són degudes a processos industrials, especialment als processos amb productes minerals (com ara el ciment).

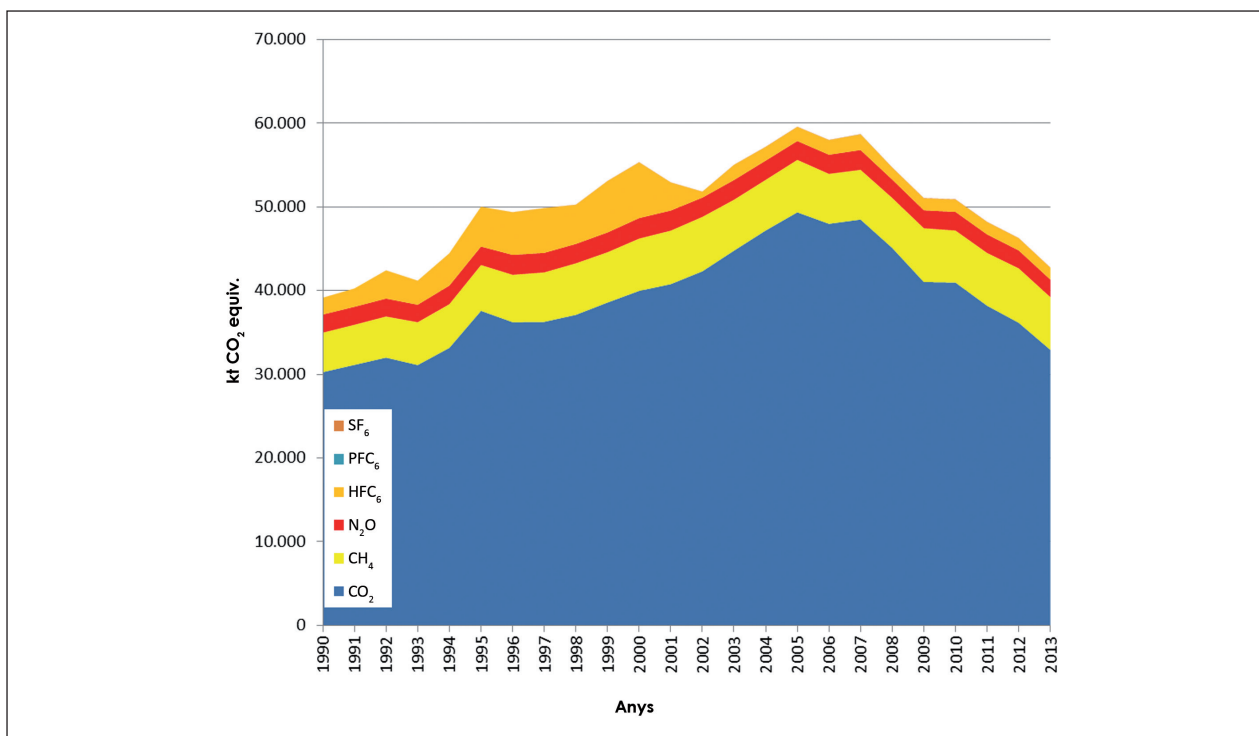


FIGURA 2.10. Emissions de CO₂ equivalent per GEH a Catalunya per al període 1990-2013.

El segon gas que cal considerar pel que fa a les emissions de GEH és el metà (CH₄). Les emissions en kt CO₂ equiv. són de 4.721 (12,1 % del total) per a l'any 1990, i augmenten un 39 % fins a assolir les 6.302 kt CO₂ equiv. l'any 2013, que representen el 14,7 % del total.

El tercer GEH és el N₂O, per al qual s'estimen 2.156 kt CO₂ equiv. (5,5 % del total) per a l'any 1990, que augmenten a 2.436 kt CO₂ equiv. (4,4 %) l'any 2000, i, finalment, la participació és del 4,5 % (2.082 kt CO₂ equiv.) l'any 2013.

Els gasos fluorats en conjunt (SF₆, HFC i PFC) representen d'un 1,4 a un 12,1 % del total dels GEH. Els que més hi contribueixen són els HFC, amb un descens clar a partir de l'any 2000 (12 %), amb només un 3,3 % l'any 2013 (1.416 kt CO₂ equiv.). En el cas del SF₆ i els PFC, les contribucions són totalment marginals i inferiors al 0,1 %.

2.3.4. Emissions de GEH per sectors

S'analitzen les emissions de GEH per sectors a Catalunya. La figura 2.11 mostra l'evolució de les emissions per al període 1990-2013 (emissions totals en valor absolut, kt CO₂ equiv. any⁻¹).

El sector «processament d'energia» és el que genera una quantitat més gran d'emissions. Per a l'any 1990, van ser 26.171 kt CO₂ equiv., i van representar el 66,84 % del total de les emissions a

Catalunya, les quals han augmentat un 14,6 % el 2013, amb unes emissions de 29.994 kt CO₂ equiv., que representen el 70,1 % del total.

Les emissions del sector «processament d'energia» són clarament dominants i degudes, principalment, al subsector «activitats de combustió», ja que l'altre subsector, les emissions «fugitives dels combustibles», representa l'1 ± 0,4 % (l'any 2013 són 209,7 kt CO₂ equiv.). El subsector «activitats de combustió» integra les activitats següents: «indústries del sector energètic», «indústries de manufactura i construcció», «transport» i «altres sectors». Cadascuna d'aquestes activitats representa entre el 9 i el 28 % de les emissions totals de GEH. Aquests percentatges de les activitats de combustió separatament són superiors als percentatges de cada un dels sectors restants («processos industrials», «ús de dissolvents i altres productes», «agricultura» i «residus»).

L'activitat de combustió que genera més emissions és el «transport», amb unes emissions de 10.646 kt CO₂ equiv. l'any 1990, que representen el 27,2 % del total. Les emissions s'han incrementat un 9,7 % en el període 1990-2013 (11.680 kt CO₂ equiv., que representen el 27,3 % de les emissions totals el 2013). Les activitats següents en quantitat emesa de GEH són: «indústries de manufactura i construcció» i «indústries del sector energètic», les emissions de les quals són

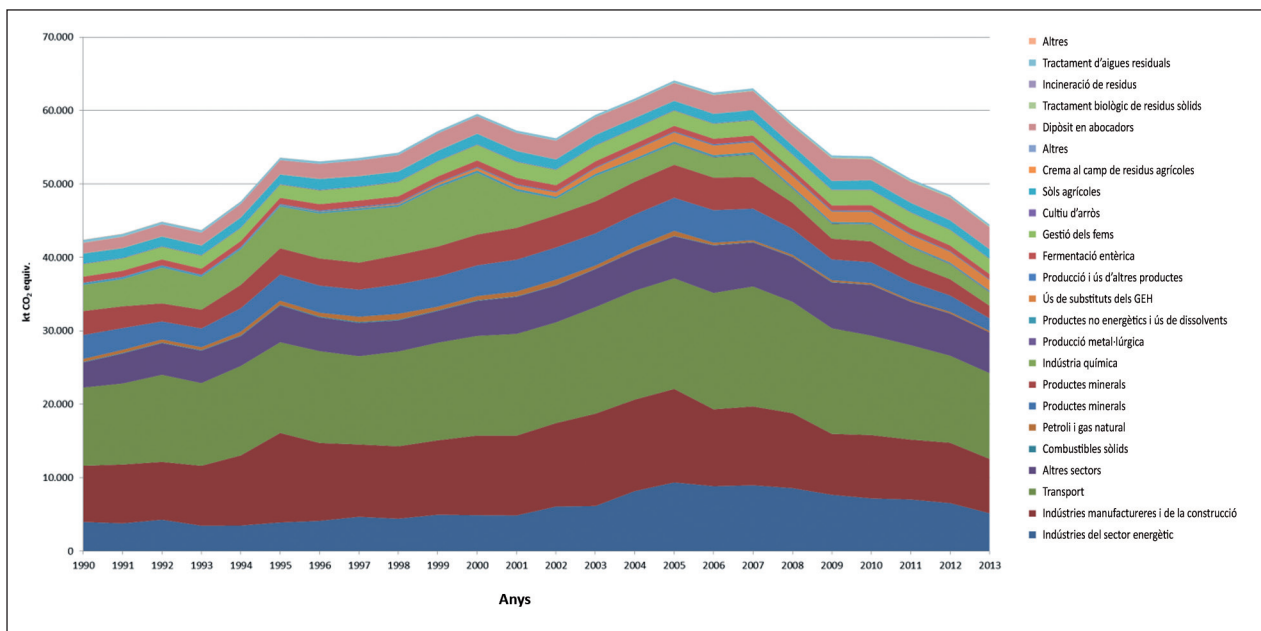


FIGURA 2.11. Emissions de CO₂ equivalent per sectors a Catalunya per al període 1990-2013.

de 7.656 i 3.967 kt CO₂ equiv. l'any 1990, que esdevenen 7.415 i 5.149 kt CO₂ equiv. l'any 2013, cosa que representa el 19,7 ± 2,0 % i el 11,5 ± 2,9 % del total de les emissions, respectivament. Finalment, l'activitat «altres de processament d'energia» representa el 9,3 % de les emissions totals l'any 1990 (3.425 kt CO₂ equiv.) i augmenta a 5.541 kt CO₂ equiv. l'any 2013 (10,3 ± 1,5 % del total).

Després del sector «processament d'energia», els sectors següents en quantitat d'emissions de GEH són: «processos industrials» i «agricultura». En primer lloc, les emissions del sector «processos industrials» —causades, essencialment, pel sector «fabricació de ciment»— s'estimen en 7.120 kt CO₂ equiv. (18,2 %) l'any 1990, i representen un 12,4 % del total l'any 2013 (5.302 kt CO₂ equiv.); cosa que indica que les emissions han disminuït un 25,5 % en el període 1990-2013.

Les emissions del sector «agricultura», amb unes emissions de 4.024 kt CO₂ equiv. (10,3 % del total) l'any 1990, augmenten lleugerament (amb increment del 2,5 %) a 4.126 kt CO₂ equiv. l'any 2013 (9,7 % del total).

El sector «residus» presenta unes emissions de 1.842 kt CO₂ equiv. l'any 1990 (4,7 % del total), que incrementen un 81,7 % l'any 2013 (3.346 kt CO₂ equiv., que representen el 7,8 % del total de les emissions).

2.3.5. Emissions sotmeses a directiva i emissions difuses

La UE va establir un conjunt de mesures d'ajuda al compliment del PK, en què destaca la mesura relativa a la posada en marxa d'un règim per al comerç de drets d'emissions (en anglès, *EU ETS emissions*) mitjançant les directives 2003/87/CE i 2009/29/CE transposades mitjançant les lleis 1/2005 (Reial decret llei 5/2005) i 13/2010. Això ha comportat, dins de la UE, distingir entre els sectors emissors que són afectats pel comerç dels drets d'emissió i els que no ho són; en altres termes, entre *emissions sotmeses a directiva* i *emissions difuses*.

El règim de comerç d'emissions de GEH s'ha aplicat en dos períodes, 2005-2007 i 2008-2012 (que coincideix amb el primer període del PK) a les emissions de CO₂ procedents d'instal·lacions

dels sectors industrials indicades a l'annex I de la Llei 1/2005: generació elèctrica (centrals tèrmiques i cogeneració), refineries de petroli, combustió (> 20 MW_t), acer, productes ceràmics, ciment, vidre, calç, paper i cartró. En el tercer període (2013-2020, que coincideix amb el segon període del PK), la Directiva 2009/29/CE, transposada mitjançant la Llei 13/2010, amplia el règim de comerç de drets d'emissió per tal d'incloure-hi l'aviació (a partir del 2012; Directiva 2008/101/CE), altres sectors industrials com ara el petroquímic, la indústria química, l'alumini i els metalls no fèrrics, i les instal·lacions destinades a la captura, el transport i l'emmagatzematge geològic de CO₂. A més, s'hi inclouen altres GEH, com ara l'òxid nítric (N₂O) i els perfluorocarburs (PFC). Les instal·lacions de Catalunya que declaraven les emissions i les verificaven anualment eren 142 l'any 2013. L'any 2005 n'eren 144, van passar per un màxim de 185 i, finalment, l'any 2014 només en són 131.

Els sectors restants, els anomenats *emissions difuses* (en anglès, *non-EU ETS emissions*), corresponen als sectors emissors següents: el sector industrial (no afectat per la directiva), el consum de combustibles fòssils als sectors residencial, institucional i de serveis, les emissions fugitives, l'ús de dissolvents, el transport, els residus i l'agricultura.

De les 42,77 Mt CO₂ equiv. totals emeses a Catalunya l'any 2012, el 30,8 % (13,16 Mt CO₂ equiv.) correspon a les emissions de les instal·lacions sotmeses al comerç de drets d'emissió, i el 69,2 % restant (29,61 Mt CO₂ equiv.), a les emissions causades pels sectors difusos. Les emissions dels sectors difusos han guanyat pes —d'un 66 a un 69 %— per sobre de les emissions sotmeses a directiva, que han disminuït progressivament de 20,1 Mt CO₂ equiv. l'any 2005 a 13,2 Mt CO₂ equiv. l'any 2013. Aquesta reducció és conseqüència, essencialment, de la disminució de la producció industrial, sobretot en el sector del ciment, i la disminució consegüent de la demanda energètica.

La contribució dels sectors difusos és significativa, particularment per les emissions dels sectors del transport, residencial i industrial no regulat. Això es deu, principalment, al fet que les emissions de GEH associades al model energètic a Catalunya són inferiors que a Espanya i a la mitjana de la UE-28,

a causa d'un mix elèctric menys intensiu en carboni, en què destaquen l'aportació de l'energia nuclear i del gas natural. En el conjunt d'Espanya, el 2012 el sector de la generació elèctrica és el responsable de més del 55 % de les emissions dels sectors afectats per la directiva, amb un pes elevat de la generació amb carbó, mentre que a Catalunya prop del 23 % de les emissions de CO₂ reglades és degut a la generació elèctrica.

En el període 2008-2013, el transport és el responsable màxim de les emissions difuses, amb un 39,9 %, seguit dels sectors industrials no regulats, amb un 18,6 %, i de la combustió dels sectors residencial, de serveis i de l'agricultura, amb un 15,9 %, del sector de l'agricultura i la ramaderia, amb una contribució del 12,5 %, i, finalment, de les emissions causades pel tractament de residus, amb un 9 %, altres emissions del transport, amb un 2,4 %, i les emissions fugitives dels combustibles, amb un 0,8 %.

Les emissions difuses presenten una tendència cap a la disminució, principalment en el sector transport, i també en els sectors industrials no regulats, per raons essencialment circumstancials a causa de la crisi econòmica i no pas per causes estructurals. Cal esmentar que la Generalitat de Catalunya ha adoptat una sèrie de plans, que s'indiquen a continuació, i que haurien d'incidir en la mitigació d'aquest tipus d'emissions:

- Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020
- Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis
- Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica als Edificis i Equipaments de la Generalitat de Catalunya 2015-2017
- Estratègia per Promoure l'Aprofitament Energètic de la Biomassa Forestal i Agrícola
- Pla d'Acció d'Eficiència Energètica a la Indústria
- Pacte Nacional per a la Transició Energètica de Catalunya.

2.4. Compliment del Protocol de Kyoto: 2008-2012

El Protocol de Kyoto és un acord internacional que es desenvolupa en l'àmbit del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, que es va

adoptar en la COP3, del 1997, i que va entrar en vigor el 16 de febrer del 2005. En resum, trenta-vuit països desenvolupats es comprometeren a reduir les emissions de GEH un 5,2 % per al període 2008-2012 (tot i que els Estats Units no ho ha ratificat mai) respecte a les emissions de CO₂, CH₄ i N₂O de l'any 1990 (per als gasos HFC, PFC i SF s'utilitza el 1995 com a any de referència). Preveia més de tres mecanismes de flexibilitat: 1) la implementació conjunta de projectes (JI), 2) el mecanisme de desenvolupament net (CDM) i 3) el comerç de drets d'emissió (ET). Atès que a la COP15 de Copenhaguen, l'any 2009, no es va assolir cap nou acord, a la COP18 de Doha, l'any 2012, se'n va estendre la vigència fins a l'any 2020. Per a avaluar adequadament els objectius del PK en el context europeu, cal tenir en compte:

- a) L'assignació de drets d'emissió en el marc de l'EU ETS, cosa que és equivalent a la divisió dels objectius de Kyoto: una part cobreix els sectors ETS, que els operadors de les instal·lacions cobertes per l'ETS estan legalment obligats a aconseguir; i l'altra part, les emissions difuses, que cal que siguin aconseguides pels governs.
- b) La contribució neta de les emissions de GEH de les activitats relacionades amb els embornals i les fonts de carboni.
- c) L'ús de mecanismes flexibles, cosa que permet als països comprar crèdits d'emissió d'altres països per tal d'augmentar el balanç d'emissions.

2.4.1. UE-15

El compromís específic per a la UE-15 era reduir un 8 % les emissions de GEH amb referència a les emissions de l'any base. Les dades d'emissions de GEH de la UE mostren que els quinze països europeus que es van comprometre, en el PK, a contenir els GEH han acomplert l'objectiu conjunt. Durant el període 2008-2012, les emissions totals de GEH van ser de mitjana un 11,8 % per sota de l'any base. D'un valor de referència de 4.265 Mt CO₂ equiv., havia de disminuir com a mínim a 3.926 Mt CO₂ equiv. i s'ha situat en una emissió mitjana de 3.760 Mt CO₂ equiv. per al 2008-2012 (EEA, 2014; EC, 2014).

L'anàlisi de la EEA indica que la recessió econòmica pot explicar entre el 30 i el 50 % de l'emissió

observada de reduccions a tota la UE. Els efectes combinats d'altres factors juguen un paper més important, els quals inclouen menys intensitat energètica de l'economia (més eficiència i canvis en l'estructura de l'economia) i menys intensitat de carboni en la combinació energètica (una part creixent de les energies renovables). No obstant això, en el sector del transport les emissions han augmentat. L'agència també destaca que anys abans de l'objectiu del 2020 la UE ja es troba en situació d'aconseguir la reducció del consum d'energia primària un 20 %.

El compliment de la UE-15 depèn del compliment de tots els quinze estats membres: tots han d'aconseguir el propi objectiu per a assegurar que s'assoleix el compliment del PK. Cinc països no han arribat a l'objectiu individual mitjançant la reducció de les emissions domèstiques, i per això han hagut de fer ús dels mecanismes de flexibilitat: Espanya, Itàlia, Dinamarca, Àustria i Luxemburg.

En l'àmbit de la UE, cal destacar l'aprovació, el 2008, del Paquet Europeu d'Energia i Canvi Climàtic 2013-2020, que d'una manera vinculant estableix objectius concrets per al 2020: 1) reduir les emissions de GEH un 20 % per sota dels nivells del 1990, 2) incrementar l'energia renovable al 20 % i 3) aconseguir un estalvi energètic del 20 %.

Segons les previsions actuals dels estats membres, cal esperar que les emissions totals (excepte el LULUCF i l'aviació internacional) durant el segon període de compromís del PK (2013-2020) siguin un 24 % inferiors als nivells de l'any de referència. Per tant, la UE està en via d'assolir l'objectiu de Kyoto per al segon període de compromís amb una superació potencial d'1,4 Gt CO₂ equiv.

2.4.2. Espanya

El compromís d'Espanya en el marc del PK era no superar un augment del 15 % de les emissions, cosa que significava un augment màxim de 43,5 Mt CO₂ equiv., però l'ha superat en 8,7 punts. Podria haver estat pitjor, ja que fa un decenni, el 2004, Espanya n'emetia un 53 % més que l'any 1990. Per aquest motiu va acordar amb la Unió Europea fixar un objectiu d'augment de les seves emissions del 37 %, que era el resultat del 15 % que se li havia assignat, d'un 2 % per a l'increment de

la seva capacitat d'embornal i d'una previsió d'ús dels mecanismes flexibles del 20 %. Finalment, Espanya ha aconseguit complir amb el PK comprant menys crèdits del que inicialment havia previst.

La millora d'Espanya no es deu a esforços per a ser més eficient energèticament o per a augmentar el percentatge d'energies renovables, sinó que es deu, principalment, a la crisi econòmica, que ha provocat la reducció de la producció industrial i del transport. Per exemple, en el marc de la generació d'electricitat, se n'ha mantingut la producció mitjançant l'ús del carbó, i pel que fa al transport, per mitjà del canvi temporal l'any 2011 de la velocitat màxima de circulació a les autopistes de 120 km/h a 110 km/h.

Això vol dir que Espanya ha hagut de fer ús dels mecanismes flexibles i dels crèdits generats per l'absorció de CO₂ en embornals per a poder assolir l'objectiu fixat, i l'ha aconseguit mitjançant la compra de crèdits de reducció d'emissions en altres països: entre el 2008 i el 2012 el govern espanyol s'ha gastat més de 800 milions d'euros per comprar drets d'emissió amb l'objecte de complir el compromís.

Les projeccions de la UE per a l'any 2020 indiquen que la major part dels estats membres esperen assolir els objectius d'emissions individuals. No obstant això, certs estats membres han d'aplicar mesures addicionals o utilitzar mecanismes de flexibilitat per a aconseguir els objectius per a l'any 2020, com és el cas d'Espanya.

2.4.3. Catalunya

L'Estat espanyol no ha distribuït territorialment els compromisos adquirits en el marc del PK i de la UE, ni en funció de la població, del PIB o d'un altre criteri de distribució. Per aquest motiu, els objectius definits per a Espanya també es prenen com a referència per a Catalunya.

Des de la perspectiva de les emissions totals per al compliment de l'objectiu del PK en el primer període, 2008-2012, pel que fa al valor de l'any de base, 40,3 Mt per a Catalunya, el valor mitjà ha estat de 46,47 Mt CO₂ equiv., la qual cosa únicament representa un 1,3 % per sobre del 15 %.

No obstant això, el Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012 (PMMCC)

estableix l'objectiu de limitar el creixement de les emissions dels sectors difusos fins a un 37 % més respecte a l'any base, com a mitjana per al període 2008-2012. Això significa que l'emissió total dels sectors difusos durant els anys del PK (2008-2012) no hauria de ser superior a 36,5 Mt CO₂ equiv. de mitjana anual.

La mitjana d'emissions difuses per al període 2008-2012 de compliment del PK és de 30,6 Mt CO₂ equiv., cosa que significa que Catalunya, des d'aquesta perspectiva, compleix el compromís del PK i el PMMCC, perquè se situa per sota de les emissions mitjanes necessàries per a complir l'objectiu fixat al PMMCC (36,5 Mt CO₂ equiv.). La mitjana per a aquest període, doncs, va assolir un nivell únicament del 14,8 % superior respecte a les emissions de l'any base de PMMCC. Amb un ús de mecanismes flexibles negatiu de 0,6 kt CO₂ equiv., també cal assenyalar que les emissions sotmeses a directiva van augmentar un 19 % en el període de compliment del PK.

Aquests resultats es deuen, essencialment, a la crisi econòmica actual i al conjunt d'accions que s'han pres, amb més o menys desenvolupament, a Catalunya:

- La Convenció Catalana del Canvi Climàtic
- El Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012
- Les eines per al càlcul d'emissions de GEH: la guia i la calculadora
- Els acords voluntaris
- La línia de subvencions als ens locals
- El vehicle elèctric
- Els gasos fluorats
- La incorporació del canvi climàtic en l'avaluació ambiental del planejament urbanístic
- El Programa Voluntari de Compensació de Gasos amb Efecte d'Hivernacle
- L'INDC; la contribució de Catalunya de reducció de GEH per a la COP21.

2.5. COP21 - l'Acord de París 2015: INDC

Per tal de preparar-se per a l'adopció de l'Acord de París, els governs han hagut de presentar els anomenats *intended nationally determined contribution* (INDC). Els objectius individuals de re-

ducció d'emissions enviats pels diferents governs són clarament insuficients, ja que comportarien un augment de la temperatura mitjana global de 2,7 a 3,5 °C. La previsió és que, per a l'any 2030, s'emetran 55 Gt CO₂, mentre que per a mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial per sota dels 2 °C caldria reduir aquesta quantitat a 40 Gt.

La UE ha marcat un camí ambiciós en la lluita contra el canvi climàtic: amb el compromís de tots els socis per a reduir les emissions de GEH, l'any 2030, fins a un 40 % per sobre de les que s'emetien l'any 1990, aconseguir una participació de les energies renovables del 27 % en el consum final d'energia, i millorar l'eficiència energètica un 27 %.

Tot i les limitacions que conté, cal ser positiu, ja que no ha estat exempt de dificultats fins a l'últim moment. Però encara ha de passar l'examen de la ratificació, l'abril del 2016, amb almenys cinquanta-cinc països que representin almenys el 55 % de les emissions, igual que el PK, i entraria en vigor el 2020.

Hi ha el compromís de presentar plans de reducció d'emissions i de revisar-los cada cinc anys en un marc de transparència. L'acord representa un pas important en la lluita contra l'escalfament global, que indica clarament les enormes dificultats de caminar cap a una governança mundial.

Des de l'àmbit científic es veu insuficient i incoherent. L'eliminació d'una referència a la necessitat d'una retallada quantificada dràstica de les emissions de GEH per a l'any 2050, a fi d'aconseguir limitar l'augment de la temperatura mitjana del planeta en 2 °C, és un clar exercici de voluntarisme: la temperatura ja és 1 °C superior a l'era preindustrial, atès que les quantitats ja emeses mantindran la capacitat d'escalfament durant anys.

Les responsabilitats en la preservació del clima són «comunes però diferenciades». El compromís assolit fixa el principi de responsabilitats i capacitats diverses dels diferents estats segons les «circumstàncies nacionals diferents». El text assenyala la importància de prevenir, minimitzar i abordar les pèrdues i els danys associats als efectes negatius

del canvi climàtic, però no té en compte les emissions generades pel transport aeri i marítim.

No el defineix, però sí que orienta el camí cap a la descarbonització de l'economia i la fi dels combustibles fòssils com una cosa que cal aconseguir inevitablement en aquest segle XXI. L'èxit de l'Acord de París sobre el clima no depèn de les múltiples declaracions voluntaristes que conté, sinó del fet que apliquem realment polítiques i accions de reducció d'emissions sense dilatació temporal.

2.6. Conclusions

L'emissió de GEH té un efecte global i afecta el conjunt dels sistemes terrestres; no coneix l'existència de fronteres. A escala mundial, les emissions de CO₂ s'han incrementat exponencialment d'ençà de l'inici de la revolució industrial.

L'evolució de les emissions de GEH a Catalunya des de l'any 1990 es deu, principalment, a la dinàmica del cicle econòmic i no pas a una política de reducció. Tot i que hi ha hagut polítiques i esforços de reducció, caldria que augmentessin d'una manera decidida.

El repte serà, un cop superada la crisi econòmica actual i quan l'economia es reactivi, aconseguir un canvi radical del model socioeconòmic i energètic present i una reducció significativa de les emissions de GEH. En aquest punt, hi ha dues opcions: en primer lloc, si la «gran recessió» actual no provoca cap canvi de plantejament en el model socioeconòmic i energètic, hi haurà un nou augment de les emissions. Per contra, si s'aconsegueix un canvi socioeconòmic i energètic profund, hauria de permetre un canvi a la baixa de les emissions.

2.7. Recomanacions

L'octubre del 2014, el Consell Europeu va acordar el marc sobre clima i energia per al 2030 de la UE, i l'Acord de París confirma l'enfocament de la UE:

- 1) Un objectiu vinculant de reducció de GEH: reduir les emissions un 40 % per sota del nivell del 1990, només prenent mesures en l'àmbit nacional.
- 2) Un objectiu vinculant en matèria d'energies renovables: caldria que tinguessin un paper fonamental en la transició cap a un sistema energètic sostenible, segur i competitiu.
- 3) Eficiència energètica: una millora de l'eficiència energètica contribuirà a assolir tots els objectius de la política energètica de la UE, sense la qual no és possible cap transició cap a un sistema energètic segur i sostenible.
- 4) Un sistema de transport sostenible: promoure la combinació òptima de diferents mitjans de transport dins de la mateixa cadena de transport (com, per exemple, el transport de mercaderies), innovacions tecnològiques per a un canvi cap a l'ús d'energies més eficients (com ara el vehicle elèctric) i menys contaminants, sobretot en el cas de la llarga distància i el transport urbà.

Catalunya hauria de consolidar decididament una transició cap a una economia amb emissions de carboni baixes i assumir-ho com un eix polític prioritari: prioritzar la mobilitat pública respecte a la privada; transformar el model de mobilitat i avançar cap a un grau elevat d'electrificació; millorar i prioritzar la xarxa de trens de rodalia; fomentar la implementació de mesures d'eficiència energètica, especialment en el sector urbà; redirigir els sistemes de generació elèctrica, i fomentar aquest sector tecnològic mitjançant un enfocament híbrid, tant en la reducció del consum com en la millora de la intensitat. En resum, caminar cap a posicions de lideratge d'una manera decidida i activa.

Referències bibliogràfiques

- CDIAC = CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER (2015). *Global CO₂ emissions from fossil-fuel burning, cement manufacture and gas flaring: 1751-2011* [en línia]. <http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2011.ems> [Consulta: 13 març 2016].
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2014a). Technical report núm. 18/2014, *Progress towards 2008-2012 Kyoto targets in Europe* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/progress-towards-2008-2012-kyoto>> [Consulta: 13 març 2016].
- (2014b). Technical report núm. 6/2014, *Trends and projections in the EU ETS in 2014* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2014>> [Consulta: 13 març 2016].

- (2015a). Technical report núm. 15/2015, *Approximated EU GHG inventory: Proxy GHG estimates for 2014* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/approximated-eu-ghg-inventory-2014>> [Consulta: 13 març 2016].
 - (2015b). Technical report núm. 14/2015, *Trends and projections in the EU ETS in 2015* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-eu-ets-2015>> [Consulta: 13 març 2016].
 - (2015c). EEA report núm. 4/2015, *Trends and projections in Europe 2015: Tracking progress towards Europe's climate and energy targets* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2015>> [Consulta: 13 març 2016].
- EC = EUROPEAN COMMISSION (2014). Report from the Commission to the European Parliament and the Council, *Progress towards achieving the Kyoto and EU 2020 objectives*, [en línia]. <<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/EN/1-2014-689-EN-F1-1.Pdf>> [Consulta: 13 març 2016].
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1995). *Second assessment climate change 1995: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SAR)*. També disponible en línia a: <<https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>> [Consulta: 13 març 2016].
- (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de S. Solomon, D. Qin, M. Manning [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1>> [Consulta: 13 març 2016].
 - (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>> [Consulta: 13 març 2016].
 - (2014). *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició d'O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3>> [Consulta: 13 març 2016].
- MAGRAMA = MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2014). *Inventarios nacionales de emisiones a la atmósfera 1990-2012: Documento resumen* [en línia] <<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/default.aspx>> [Consulta: 13 març 2016].

3 Balanç de carboni: els embornals a Catalunya

Autors

Jordi Vayreda	Maria Teresa Sebastià
Javier Retana	Eva Calvo
Robert Savé	Jordi Catalan
Inmaculada Funes	Meritxell Batalla

Jordi Vayreda és doctor en ecologia terrestre i investigador del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF) des del 1991. Ha estat responsable dels càlculs, l'anàlisi i la publicació dels resultats dels inventaris forestals d'àmbit nacional. Ha participat en diferents projectes europeus, en projectes d'investigació finançats per diferents ministeris, l'Institut Nacional d'Investigació i Tecnologia Agrària i Alimentària (INIA) i la Fundació Biodiversitat, i en contractes amb l'Administració de l'Estat i amb la Generalitat de Catalunya. Ha estat responsable de diversos informes encarregats per la Generalitat de Catalunya sobre l'ús de la biomassa per a produir energia i el càlcul d'estocs i balanços de carboni dels boscos de Catalunya i d'Espanya. Desenvolupa la recerca en el camp de la macroecologia i estudia els impactes de les pertorbacions, la gestió forestal i el canvi global als boscos (declivi, vulnerabilitat i resiliència) amb relació als processos demogràfics i a la capacitat d'embornal.

Javier Retana és catedràtic d'ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona i director del CREAM des del juliol del 2005. Basa la recerca en l'estudi de la dinàmica forestal i l'efecte de les pertorbacions en les comunitats d'animals i plantes i en els recursos hídrics. Ha publicat més de dos-cents articles, més de cent cinquanta dels quals en revistes internacionals indexades. Ha estat i és l'investigador principal

de nombrosos projectes de recerca d'àmbit nacional i internacional. Concretament, ha estat coordinador del projecte MONTES, un gran projecte inclòs dins del programa CONSOLIDER, sobre els efectes del canvi global als boscos espanyols, que agrupava més de cent investigadors de moltes de les principals institucions espanyoles dedicades a la recerca en ecologia terrestre i forestal. Actualment, és investigador principal del projecte europeu BEWATER, sobre les adaptacions dels recursos hídrics al canvi global. Ha dirigit tretze tesis doctorals i nombrosos projectes de màster.

Robert Savé és doctor en biologia, amb més de trenta anys d'experiència en l'àrea de l'ecofisiologia, principalment en l'àmbit agropecuari, i coordinador científic del programa Vitivinicultura de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). És assessor de l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària, membre del Grup de Canvi Climàtic de Catalunya, representant espanyol en el sector agroforestal a l'Aliança Global contra el Canvi Climàtic (OECC-MAGRAMA), membre de l'Observatori Metropolità pel Canvi Climàtic (METROBS), membre del grup de qualitat Relacions Hídriques del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació, membre del Consell Assessor de l'Aigua per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya i editor de la secció «Agricultural environ-

ment and ecology» de l'*Spanish Journal of Agricultural Research*. També és professor d'ecologia a la Universitat Autònoma de Barcelona i a la Facultat Regional Multidisciplinària de la Universitat Autònoma de Nicaragua, i treballa en la resposta dels vegetals als estressos abiòtics i biòtics, des de la planta fins al paisatge.

Inmaculada Funes és llicenciada en ciències ambientals per la Universitat de Granada i màster en gestió i restauració del medi natural per la Universitat de Barcelona. Actualment cursa els estudis de doctorat sobre l'agricultura mediterrània com a embornal de carboni al Departament d'Ecologia Terrestre de la Universitat Autònoma de Barcelona, i treballa com a tècnica de suport a la recerca a l'IRTA, en el programa d'horticultura ambiental que participa en el projecte europeu LIFE-MEDACC.

Maria Teresa Sebastià és professora de la Universitat de Lleida (UdL). Coordina el grup de recerca Gestió i Anàlisi Multiescala de Biodiversitat i Serveis Ambientals als Sistemes Forestals i Agrícoles sota Canvi Global (GAMES) de la UdL, i el Laboratori d'Ecologia Funcional i Canvi Global (ECOFUN) del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. La recerca inclou les interaccions entre la biodiversitat i els cicles del nitrogen i el carboni en un context de canvi climàtic a pastures, boscos i conreus, temes dels quals disposa de nombrosos projectes dirigits i publicacions en revistes científiques.

Eva Calvo és llicenciada en ciències químiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (1997) i doctora en ciències químiques per la Universitat Politècnica de Catalunya (2001). Entre el 2001 i el 2005 va realitzar una estada postdoctoral a l'Escola de Recerca en Ciències de la Terra de la Universitat Nacional Australiana i al Geoscience Australia (Canberra, Austràlia), i el 2006 es va incorporar a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) de Barcelona com a investigadora Ramón y Cajal, en el qual és membre del Grup de Recerca en Biogeoquímica Marina i Canvi Global i, des del

2015, científica titular. La seva recerca inclou l'estudi dels climes del passat i la relació amb les variacions de CO₂ atmosfèric, i també la resposta i la influència dels oceans en la variabilitat climàtica. És vicepresidenta del Comitè Espanyol de Future Earth i membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya.

Jordi Catalan és doctor en biologia per la Universitat de Barcelona (1987). Ha estat professor titular del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona (1989-2001) i investigador del Centre d'Estudis Avançats de Blanes (2001-2012). Actualment és professor de recerca del CSIC al CREAM i responsable del Grup d'Ecologia dels Canvis Ambientals (GECA). Ha centrat la recerca en la biogeoquímica i la biodiversitat de les aigües continentals i ha contribuït al coneixement de la limnologia d'estanys remots, la contaminació atmosfèrica a llarga distància, la reconstrucció d'ambients del passat i l'ecologia teòrica. Aquesta recerca es caracteritza per una àmplia col·laboració amb científics de formació i procedència molt variades (com ara físics, químics, geòlegs, geògrafs i arqueòlegs). Ha publicat prop de dues-centes publicacions científiques i ha dirigit catorze tesis doctorals.

Meritxell Batalla és llicenciada en ciències ambientals per la Universitat de Barcelona (2009) i màster en teledetecció i sistemes d'informació geogràfica pel CREAM (2010). Té experiència en la gestió de bases de dades, l'ús d'eines SIG i la modelització geoespacial. Ha participat en diversos projectes d'investigació de la Universitat Autònoma de Barcelona i del GRUMETS-CREAM, tant en l'àmbit universitari com en l'empresarial, relacionats, sobretot, amb la modelització del clima i la vegetació, i també en la difusió per mitjà de navegadors de mapes. És coautora de l'*Atlas climàtic digital d'Andorra* i del *Mapa d'aptitud per la producció de fruita dolça a Catalunya* (Fruit-Map), i actualment participa en diversos projectes del Grup d'Ecologia dels Canvis Ambientals (GECA, CREAM-CEAB).

Sumari

Síntesi	69
3.1. Introducció	70
3.2. Sistemes terrestres.....	70
3.2.1. Canvis en la superfície de les cobertes del sòl (1993-2009).....	70
3.2.2. Estocs i embornals de carboni als boscos i matollars.....	71
3.2.2.1. Embornals de carboni als boscos i matollars	71
3.2.2.2. Estocs de carboni als boscos i als matollars	72
3.2.2.3. Estocs de carboni als sòls forestals, la virosta i la fusta morta.....	73
3.2.2.4. El lidar i el futur dels inventaris forestals.....	73
3.2.2.5. Fins quan podran mantenir la capacitat d'embornal els boscos catalans?	74
3.2.2.6. Projecció de la capacitat d'embornal de carboni dels boscos a Catalunya fins al 2050	75
3.2.3. Prats i pastures.....	75
3.2.3.1. Estocs i embornals de carboni als prats i pastures.....	76
3.2.3.2. Estabilitat de l'estoc i l'embornal als prats i pastures.....	78
3.2.3.3. Eines per a mantenir o millorar l'eficiència en la capacitat d'embornal i en el manteniment de l'estoc.....	78
3.2.4. Agricultura	78
3.2.4.1. Mètodes d'avaluació dels embornals agrícoles.....	78
3.2.4.2. Conreus llenyosos.....	80
3.2.4.3. Conreus herbacis.....	80
3.2.4.4. Estocs de carboni als sòls agrícoles.....	81
3.2.4.5. Interfase conreu/bosc	82
3.3. Aigües continentals	83
3.4. Sistemes marins.....	84
3.5. Conclusions	86
3.6. Recomanacions	87
3.6.1. Boscos i matollars.....	87
3.6.2. Prats i pastures.....	88

3.6.3. Agricultura	88
3.6.4. Aigües continentals.....	88
3.6.5. Sistemes marins	88
Referències bibliogràfiques	88

Síntesi

En aquest capítol es determinen els estocs i els embornals de carboni (C) dels diferents sistemes terrestres i marins. El bosc és el sistema terrestre que manté en estoc més quantitat de carboni per hectàrea, $149,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (en una proporció vegetació/sòl [v:s] de 60:100). Els prats ocupen la segona posició, amb $121,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (v:s d'11:100), i a continuació trobem els conreus llenyosos i els matollars, amb $104,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (v:s de 12:100) i $112,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (v:s de 15:100), respectivament. En la darrera posició, hi ha els conreus herbacis, amb $100,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (v:s d'1:100). La mar catalana ha anat augmentant l'estoc de carboni des del 1750 fins al 2001, amb un còmput acumulat de 12 Mg C ha^{-1} . Les praderies de fanerògames, que acumulen 330 Mg C ha^{-1} (en una proporció planta/sediment de 4:100) són molt destacables. Les aigües continentals mantenen $47,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$, però una part molt elevada és carboni inorgànic dissolt del sistema carbònic-carbonats, que es calcula que pot ser trenta vegades superior al carboni orgànic.

En termes absoluts, és a dir, extrapolant-ho a la superfície que ocupa cada sistema, el que manté més estoc de carboni és el bosc, amb 173 Tg , seguit a força distància pels conreus, amb 98 Tg , i la mar catalana, amb 92 Tg . En les darreres posicions hi ha els matollars, amb 60 Tg , els prats i les pastures, amb 21 Tg , i, finalment, les aigües continentals, amb només $0,33 \text{ Tg}$. En el cas dels conreus,

els prats i les pastures, el principal contribuent és el sòl. En el cas de la mar catalana, el carboni es troba, sobretot, a l'aigua.

Pel que fa al segrest mitjà de carboni, els sediments de les aigües continentals són, clarament, els que més quantitat de carboni segresten per unitat de superfície, $7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$, un valor set vegades superior al dels boscos, $1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$, que, al seu torn, dupliquen la capacitat dels conreus llenyosos, $0,4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ any}^{-1}$.

Quan s'expressa en valor absolut, el bosc és, amb diferència, el principal embornal de carboni, amb $1,3 \text{ Tg C any}^{-1}$. En canvi, els sediments de les aigües continentals passen a darrer terme, amb $0,12 \text{ Tg C any}^{-1}$, però amb valors molt semblants als dels conreus de llenyoses, amb $0,14 \text{ Tg C any}^{-1}$. Pel que fa a la resta de compartiments i sistemes, s'assumeix que o bé la capacitat d'embornal és lleugerament positiva però propera a zero, com en el cas dels matollars i els prats, o bé és totalment neutra, com en el cas dels conreus d'herbàcies. Malauradament, per als sòls i els sistemes marins encara no hi ha estudis de prou abast que permetin estimar d'una manera fiable quina és la capacitat d'embornal.

Paraules clau

boscos i matollars, conreus llenyosos i herbacis, prats i pastures, sòl, aigües continentals, sediments, praderies marines, sistemes marins

3.1. Introducció

Parlem de *reservori de carboni* o *estoc de carboni* (C) per referir-nos a la quantitat de carboni que té emmagatzemada un sistema o compartiment natural en un moment determinat. Parlem de *embornal de carboni* quan un reservori o estoc de carboni augmenta de mida amb el temps; el contrari és una *font de carboni*. El *segrest de carboni* és el terme que descriu els processos que capturen el CO₂ de l'atmosfera. Els principals embornals naturals de carboni són els oceans i els sistemes forestals. En el cas dels oceans, la transferència de CO₂ entre l'atmosfera i l'oceà s'esdevé per la diferència en la pressió parcial d'aquest gas entre l'aire i l'aigua. Mecanismes com la *bomba de solubilitat*, que fa referència a l'augment de la solubilitat del CO₂ en aigües fredes i a la transferència d'aquest CO₂ cap al fons, i l'anomenada *bomba biològica*, que té en compte la fixació de CO₂ per fotosíntesi o precipitació de carbonats en el fitoplàncton i el transport, si s'escau, cap a capes fondes, contribueixen a l'absorció de CO₂ per part dels oceans. Als continents, l'embornal principal de carboni és la vegetació (principalment, els boscos), que incorpora el CO₂ de l'atmosfera a la biomassa com a resultat net del balanç entre la fotosíntesi i la respiració. Part d'aquest carboni s'acumula al sòl en forma de matèria orgànica morta.

En aquest capítol es quantifiquen els canvis recents en les cobertes del sòl i es fa una estimació de la quantitat de carboni emmagatzemada i segrestada anualment als compartiments següents: els sistemes terrestres, desglossant-los en boscos, matollars, prats i conreus; els sistemes marins i les aigües continentals.

Per a cada compartiment, en aquest capítol també se'n discuteix el grau d'estabilitat en el passat, el present i el futur. Per tant, per a cadascun s'identifiquen, a escala catalana, els factors de canvi principals en el passat més recent en el context del canvi global. D'acord amb la literatura científica més recent, també es donen orientacions de quin en podria ser la dinàmica futura partint de les projeccions dels models climàtics regionalitzats. Finalment, en un darrer apartat es donen algunes orientacions de gestió, que es podrien dur a terme per aconseguir mantenir o millorar el segrest de

carboni o, almenys, mantenir segrestat el carboni que ja està emmagatzemat.

3.2. Sistemes terrestres

3.2.1. Canvis en la superfície de les cobertes del sòl (1993-2009)

L'única base cartogràfica actualitzada que permet elaborar una quantificació acurada dels canvis recents en les cobertes del sòl, perquè manté una coherència cartogràfica i temàtica entre versions, és el *Mapa de cobertes del sòl de Catalunya* (MCSC, 1993-2009). Gràcies a les tres edicions que s'han publicat fins avui —la primera del 1993, la segona del 2005 i la tercera i més recent del 2009—, sabem que durant aquest període (taula 3.1) la superfície forestal arbrada ha augmentat prop de 130.100 ha (un 10,8 %), i ha passat del 38 % l'any 1993 al 42 % l'any 2009. Aquest increment s'ha produït, sobretot, en detriment del matollar (amb una reducció de 183.500 ha) i de l'abandonament de conreus (50.700 ha). Els matollars, en canvi, han reduït la superfície en 76.600 ha, i ha passat del 16,4 % al 14 % en aquests setze anys. Malgrat aquestes pèrdues en valor absolut, hi ha hagut un increment a costa de la superfície arbrada (77.700 ha), essencialment pels grans incendis (el 1994, el 1998 i el 2003), i de l'abandonament de l'activitat agrícola (61.200 ha). Els prats i les pastures han tingut un augment net de 28.600 ha, i ha passat del 4,1 % al 5 % el 2009. Aquest augment ha resultat, sobretot, de l'abandonament dels conreus (40.600 ha) i de la pèrdua de superfície de matollar per incendis (27.500 ha). La pèrdua de superfície de conreus en aquest període és, en valor absolut, la més significativa, passant d'1,1 Mha el 1993 a 934.000 ha el 2009; en valor relatiu això implica una pèrdua del 15,1 % dels conreus, malgrat que també hi ha hagut rompudes notables de terrenys forestals (20.700 ha de superfície que era arbrada i 20.600 ha de matollars). En valor absolut, les principals pèrdues s'han repartit en guanys en superfície de matollar (61.200 ha) i de bosc (50.700 ha), i, per tant, fruit de l'abandonament de l'activitat agrícola i en augment de l'improductiu artificial, que essencialment correspon a nova superfície urbana i a noves vies de comunicació (58.200 ha). Finalment, l'augment molt notable en valor relatiu de l'improductiu artificial (el 63,7 %

TAULA 3.1. Principals canvis de superfície per als grans tipus de cobertes del sòl del 1993 al 2009

Cobertes el 1993 (× 1.000 ha)	Cobertes el 2009 (× 1.000 ha)						Total del 1993	Percentatge
	Arbrat	Matollar	Prats i pastures	Altres cobertes naturals	Conreus	Improductiu artificial		
Arbrat	1.086,4	77,7	10,6	7,9	20,7	15,2	1.218,5	38,0
Matollar	183,5	266,9	27,5	16,7	20,6	12,0	527,1	16,4
Prats i pastures	12,9	29,2	67,6	14,6	3,5	4,4	132,2	4,1
Altres cobertes naturals	10,4	12,2	12,2	62,3	2,2	4,3	103,6	3,2
Conreus	50,7	61,2	40,6	6,5	887,7	58,2	1.104,9	34,4
Improductiu artificial	4,6	3,5	2,3	2,0	3,7	106,4	122,5	3,8
Total del 2009	1.348,6	450,6	160,8	110,0	938,4	200,6	3.208,8	100,0
Percentatge	42,0	14,0	5,0	3,4	29,2	6,3	100,0	—
Canvis del 1993 al 2009 (× 1.000 ha)	+130,1	-76,6	+28,6	+6,4	-166,5	+78,1	—	—
Canvis del 1993 al 2009 (%)	+10,7	-14,5	+21,6	+6,2	-15,1	+63,7	—	—
Taxa de canvi (× 1.000 ha any ⁻¹)	+8,1	-4,8	+1,8	+0,4	-10,4	+4,9	—	—

La coberta «arbrat» inclou els boscos amb recobriment de capçades > 5 %, les plantacions de plàtans i pollancre i els boscos de ribera; la coberta «altres cobertes naturals» inclou la vegetació d'aiguamolls, les zones acabades de cremar, els roquissars, les tarteres, els sòls nus forestals, les platges, les glaceres, les congestes i les aigües continentals, i la coberta «improductiu artificial» inclou les zones urbanitzades, les vies de comunicació, les zones esportives i lúdiques i les zones d'extracció minera.

d'augment en només setze anys) s'ha produït en detriment dels conreus, com ja s'ha dit, però també és destacable l'augment notable en detriment de la cobertes naturals (essencialment de boscos i matollars), amb 27,500 ha.

En resum, els canvis en les cobertes del sòl en aquest període han estat determinats, sobretot, per tres grans factors, dels quals el primer es contraposa als altres dos: I) un augment molt notable de la superfície artificial fruit de la gran activitat econòmica d'abans de la crisi, que va comportar la urbanització i la construcció de noves infraestructures; II) una reducció de l'activitat agrícola, que ha comportat l'abandonament de conreus amb l'augment consegüent de les cobertes forestal (prats, matollars i boscos), i III) la mateixa dinàmica natural dels ecosistemes en absència de grans perturbacions, que comporta canvis naturals de prats a matollars i de matollars a boscos.

3.2.2. Estocs i embornals de carboni als boscos i matollars

3.2.2.1. Embornals de carboni als boscos i matollars

Un dels mètodes acceptats i utilitzats més àmpliament per a estimar la capacitat d'embornal dels boscos són els inventaris forestals per a la comparació de parcel·les permanents mostrejades periòdicament (habitualment cada deu anys). Un mostreig d'aquestes característiques, que compara l'estoc de carboni estimat entre les dues mesures i el divideix pel temps transcorregut, permet obtenir un valor del canvi en l'estoc com a mesura de la capacitat d'embornal. El *Segundo Inventario Forestal Nacional* (IFN2; Villaescusa *et al.*, 1998) i el *Tercer Inventario Forestal Nacional* (IFN3; Villanueva, 2005) van ser les fonts de dades principals que van permetre determinar amb precisió aquesta capacitat d'embornal per al període 1990-2000 en el

SICCC. Malauradament, de moment no es disposa de dades actualitzades perquè l'IFN4 encara està en fase de mostreig de camp, la qual es preveu que finalitzarà el 2016.

En una revisió posterior de la informació que ja es va publicar al SICCC, s'ha determinat que la taxa anual de segrest de carboni dels boscos de Catalunya per al període 1990-2000 va ser d'1,27 Tg C any⁻¹ de mitjana. Una hectàrea de bosc a Catalunya captura una mitjana d'1,04 Mg C ha⁻¹ any⁻¹. Aquests valors es corresponen a la part aèria i subterrània dels arbres de més de 7,5 cm de diàmetre normal dels boscos que ja eren boscos el 1990. És el resultat del balanç entre l'augment de la biomassa a causa del creixement dels arbres supervivents i dels que s'incorporen com a arbres de més de 7,5 cm de diàmetre normal a l'estrat arbori i de la disminució ocasionada per la mortalitat i la gestió forestal. Si bé aquest balanç inclou les pèrdues ocasionades per la disminució de la superfície arbrada a causa dels incendis forestals o altres perturbacions esdevingudes durant el període, no inclou, en canvi, el segrest de carboni que es produeix a la nova superfície forestal arbrada i que s'ha incrementat d'una manera notable (130.000 ha del 1993 al 2009). Aquesta estimació tampoc no incorpora el balanç de carboni del sòl forestal ni el CO₂ que hagi pogut segrestar el sotabosc, com ara el matollar i tots els arbres que encara no han arribat a la mida mínima de 7,5 cm.

Per tant, per a una avaluació completa de la capacitat d'embornal s'haurien de mesurar, també, els canvis als estocs de carboni de matollars i prats. Malauradament, les parcel·les de mostreig dels IFN només cobreixen d'una manera sistemàtica la superfície arbrada; la resta de superfície, amb vegetació natural i conreus abandonats, no es mostreja sistemàticament, de manera que no hi ha cap informació dels canvis en l'estoc de carboni en aquests casos. No obstant això, la part del balanç de carboni, positiu o negatiu, que podria provenir dels canvis de cobertes del sòl és determinada, sobretot, pel balanç entre les pèrdues i els guanys de superfície de bosc, que és la que en bona part pot contribuir al segrest de carboni. Segons la comparació dels mapes de cobertes del sòl del 1993 i del 2009, els processos que han

dominat han estat les transicions cap a un tipus de vegetació amb estructures més complexes (de prat a matollar, de prat a bosc i de matollar a bosc), la qual cosa comporta que el segrest de carboni hauria de ser superior al valor mesurat per comparació entre l'IFN2 i l'IFN3.

Tot i aquestes mancances, tenint en compte que les emissions d'origen antropogènic dels catalans per al període (2009-2013) han estat de 47,8 Mt equiv. CO₂ any⁻¹ (vegeu el capítol 2 d'aquest mateix INFORME) i assumint que els boscos catalans segueixen capturant CO₂ al mateix ritme que durant el període 1990-2000, els boscos compensen prop del 9,7 % de les nostres emissions. Dit d'una altra manera, caldrien 10,3 vegades la superfície de bosc de Catalunya per a compensar el 100 % d'aquestes emissions.

3.2.2.2. Estocs de carboni als boscos i als matollars

De la mateixa manera que per al segrest de carboni, les darreres dades disponibles per a estimar l'estoc de carboni dels boscos provenen de l'IFN3 (2000-2001) i ja es van donar a conèixer en el SICCC. D'acord amb l'IFN3, l'estoc de carboni dels boscos (arbrat i sotabosc) és de 63,5 Tg C. D'aquesta quantitat, 49,2 Tg s'acumulen als arbres del bosc (el 70 % a la part aèria, al tronc, les branques i les fulles, i el 30 % restant a la part subterrània, a les arrels) i 14,3 Tg, al sotabosc (assumint, per al matollar, una relació subterrani/aeri de 1.837; Mokany *et al.*, 2006). Els boscos tenen un estoc mitjà de 56 Mg C ha⁻¹: 43,3 Mg C ha⁻¹ a la part arbrada i 12,6 Mg C ha⁻¹ al sotabosc. Gairebé un 23 % de l'estoc total del bosc s'acumula al sotabosc.

Atès que els inventaris forestals nacionals no mostregen els matollars, es va dur a terme una estimació de l'estoc de carboni d'aquest tipus de vegetació utilitzant informació bibliogràfica. La metodologia va consistir a obtenir, d'una banda, la superfície dels diferents tipus de matollar presents a Catalunya a partir de la darrera versió de la *Cartografia dels hàbitats de Catalunya* (CHC50, 2008-2012) a escala 1:50.000, elaborada pel Grup de Recerca de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació de la Universitat de Barcelona. Dels 63 hàbitats de matollars descrits a la llegenda es van seleccionar els 23 hàbitats més comuns, que re-

presenten el 84,7 % de la superfície de matollar. D'altra banda, es va fer una cerca bibliogràfica exhaustiva de la literatura científica que quantificava la biomassa aèria viva de matollars. Dels 90 articles obtinguts de diferents zones, principalment de la península Ibèrica, es va obtenir un valor mitjà de biomassa per tipus de matollar que, multiplicat per les concentracions de carboni proposades per Montero *et al.* (2013), va permetre obtenir el valor d'estoc mitjà aeri per hectàrea i tipus de matollar. Com en el cas del sotabosc, es va assumir una relació subterrani/aeri de 1.837 (Mokany *et al.*, 2006) i, finalment, es va multiplicar aquest valor per la superfície de cada tipus de matollar i es va assignar el valor mitjà ponderat de l'estoc del conjunt de matollars a la superfície de la resta de tipus de matollar. La quantitat absoluta va ser de 5,2 Tg C distribuïts en 378.400 ha de matollar (segons el CHC50), és a dir, 13,6 Mg C ha⁻¹.

3.2.2.3. Estocs de carboni als sòls forestals, la virosta i la fusta morta

A partir de l'IFN3 s'ha pogut estimar la quantitat de carboni emmagatzemada a la fusta morta en peu. Els anys 2000 i 2001, el valor mitjà era de 0,8 Mg C ha⁻¹, que en termes absoluts són 0,9 Tg C. D'altra banda, a l'Inventari Ecològic Forestal de Catalunya (IEFC) (Gracia *et al.*, 2004) es va mesurar la quantitat de virosta acumulada als boscos en 1.831 parcel·les. De mitjana, hi ha 4,7 Mg C ha⁻¹, que en valor absolut representen 5,3 Tg C.

En un treball recent, dut a terme per Doblas-Miranda *et al.* (2013), s'ha pogut estimar l'estoc de carboni orgànic del sòl dels terrenys forestals (boscos, matollars i prats) per a tota l'Espanya peninsular a partir d'uns nou-cents perfils de sòl de diferents fonts bibliogràfiques. El model estadístic que es va obtenir va permetre elaborar un mapa de l'estoc de carboni del sòl segons el tipus de coberta vegetal, la temperatura mitjana anual, la precipitació total anual, l'altitud i la interacció entre aquestes dues darreres variables. Segons aquest mapa, a Catalunya la quantitat de carboni emmagatzemada és de 176,5 Tg C, que de mitjana representen 91,4 Mg C ha⁻¹. Els sòls forestals ocupats per matollars emmagatzemen 90,4 Mg ha⁻¹, que en valor absolut són 54,7 Tg C. D'altra banda, els sòls forestals arbrats emmagatzemen 87,9 Mg C ha⁻¹, que sumats a la quantitat de virosta i fusta morta

representen 93,4 Mg C ha⁻¹, i 109,2 Tg C en valor absolut.

El fet que el carboni del sòl es relacioni positivament amb la precipitació anual i negativament amb la temperatura mitjana comporta que hi hagi un gradient important amb valors elevats als Pirineus, que fàcilment dupliquen els valors de les terres baixes del sud i del litoral. Atès que les projeccions de canvi climàtic preveuen un augment de la temperatura i una reducció de la precipitació, és molt probable que hi pugui haver un impacte en el sòl que en redueixi la capacitat com a embornal de carboni. En qualsevol cas, aquesta primera aproximació, millorable a mesura que hi hagi més informació i més bona, permetrà estimar els canvis futurs a les existències de carboni del sòl i avaluar-ne la vulnerabilitat als diversos factors del canvi global.

3.2.2.4. El lidar i el futur dels inventaris forestals

Els inventaris forestals són, encara avui, la font d'informació principal i més fiable per a estimar la quantitat de carboni emmagatzemada y segregada pels boscos. No obstant això, en els darrers decennis ha aparegut un tipus de sensor actiu aerotransportat anomenat *lidar* (que prové de l'acrònim anglès LIDAR, *light detection and ranging*), que mesura la distància d'un objecte amb llum làser d'acord amb el temps transcorregut entre l'emissió del pols i la detecció (Montaghi *et al.*, 2013). El conjunt de polsos registrats pel lidar descriu la distribució vertical dels objectes interceptats, la qual cosa s'anomena *model digital de superfície* (MDS). De l'anàlisi del conjunt de polsos es pot diferenciar els que arriben a terra dels que es queden a mig camí, i obtenir, d'una banda, un model digital del terreny (MDT) de molta precisió i, a diferència de l'MDS, un model digital de la vegetació (MDV).

El CREAM, juntament amb l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), ha utilitzat la informació del vol lidar que es va fer per tot Catalunya amb una resolució de 0,5 polsos/m² i que va analitzar la distribució de les alçàries de la coberta de vegetació per un conjunt de parcel·les dels inventaris forestals (veritat terreny) distribuïdes per tot Catalunya i per un ampli ventall d'estructures

forestals i composició d'espècies. D'aquesta anàlisi s'han obtingut uns models estadístics precisos i fiables que descriuen l'alçària mitjana de la vegetació arbòria, el recobriment de les capçades, el volum de la fusta, la biomassa aèria i l'estoc de carboni, entre altres variables. Aquests models estadístics s'han aplicat al conjunt de dades del lidar de tots els boscos de Catalunya per obtenir la cartografia de vuit variables forestals molt rellevants, a una resolució de 20 x 20 m, de totes les zones arbrades de Catalunya, segons l'MCSC de l'any 2009. Aquesta cartografia es pot descarregar en format GeoTIFF, des de l'aplicació VISSIR (www.icc.cat/vissir).

En un futur pròxim, és molt probable que aquesta tecnologia permeti estalviar recursos econòmics, ja que reduirà l'esforç de mostreig dels inventaris forestals i millorarà molt significativament la precisió geogràfica en l'estimació de l'estoc de carboni de la vegetació. L'estimació de l'alçària de la vegetació amb aquesta tecnologia és prou precisa (10-15 cm d'error) per a obtenir estimacions fiables dels canvis en l'estoc de carboni de la part aèria dels boscos per mitjà de la diferència entre dues estimacions fetes entre cinc i deu anys de diferència.

3.2.2.5. Fins quan podran mantenir la capacitat d'embornal els boscos catalans?

Identificar els factors principals que recentment han determinat la capacitat d'embornal dels boscos, i en particular l'afectació de les tendències climàtiques a aquest patró al llarg del gradient d'humiditat nord-sud i la contribució de la gestió forestal a la mitigació dels efectes del canvi climàtic, ha estat objecte d'un treball recent basat en la comparació dels IFN a tota l'Espanya peninsular (Vayreda *et al.*, 2012). Entendre quins són aquests factors clau a escala espacial pot donar pistes sobre quins en podrien ser els efectes a escala temporal per als pròxims decennis. D'acord amb aquest estudi, els dos factors clau que governen la capacitat d'embornal són la densitat d'arbres per hectàrea i l'estoc de carboni en peu. Aquestes dues variables són el reflex de la història recent de la dinàmica, la gestió i les perturbacions naturals que han tingut lloc al bosc. La forta relació positiva i la interacció entre la capacitat d'embornal de carboni i aquestes dues variables estructurals suggereixen que els boscos catalans encara són prou joves per a

mantenir la capacitat d'embornal almenys a curt i a mitjà termini. Molts boscos encara es recuperen dels aprofitaments intensius dels anys 1950 i 1960, el període que marca l'inici de la recuperació dels boscos.

Ara bé, durant el període entre els dos inventaris forestals nacionals la temperatura mitjana ja va experimentar un increment de 0,5 a 2 °C respecte als valors mitjans dels trenta anys anteriors (1960-1990) (Vayreda *et al.*, 2012). Aquest escalfament va tenir un efecte en el creixement i la capacitat d'embornal especialment negatiu a les zones més humides del nord i el nord-oest peninsular i a les zones de muntanya, com ara els Pirineus. En aquestes zones els boscos són dominats per espècies eurosiberianes situades al límit sud de la seva àrea de distribució i, per tant, més sensibles i menys adaptades a condicions de sequera (Macias *et al.*, 2006; Andreu *et al.*, 2007; Linares *et al.*, 2009; Allen *et al.*, 2010). En canvi, l'escalfament a penes va tenir efecte en la capacitat d'embornal a les zones més seques, ja que en aquestes condicions climàtiques els boscos són dominats per espècies mediterrànies, més adaptades a suportar llargs períodes de sequera (Montero *et al.*, 2005).

En aquest estudi també es va provar l'efecte de la gestió forestal com a eina per a mitigar el canvi climàtic, i es va demostrar que, si bé no es va detectar cap benefici directe de la gestió forestal en la capacitat d'embornal, sí que es va detectar una reducció significativa de l'efecte de l'escalfament. És a dir, amb l'increment de la temperatura, l'abandonament de la gestió forestal va comportar una reducció de la capacitat d'embornal de carboni, probablement a causa de la disponibilitat més petita d'aigua. La gestió forestal, en canvi, va controlar aquest efecte negatiu i va contribuir al manteniment, o fins i tot a un petit augment, de la capacitat d'embornal.

Si bé encara no es disposa de les dades de l'IFN4, que permetrien actualitzar la informació per al període 2001-2015, és molt probable que els boscos catalans hagin mantingut la capacitat d'embornal. En primer lloc, perquè els boscos catalans encara són prou joves per a mantenir la capacitat de seguir creixent amb poca competència pels recursos

i, per tant, amb una mortalitat associada baixa. En segon lloc, perquè el ritme d'aprofitaments forestals s'ha mantingut baix i estable, amb valors propers als que es produïen entre el 1990 i el 2000 i que aleshores ja només representaven el 25 % del creixement del bosc. I, en tercer lloc, perquè no hi ha hagut grans pèrdues associades a grans incendis forestals (unes 28.000 ha de bosc cremades entre el 2001 i el 2014: menys de 2.000 ha any⁻¹; Idescat) ni a altres perturbacions. En resum, aquestes pèrdues s'han compensat àmpliament amb l'augment de l'estoc als boscos no afectats, que segueixen creixent, i amb els guanys de superfície arbrada (vegeu la taula 3.1).

La magnitud i l'efecte dels factors que influeixen en la capacitat d'embornal han estat objecte de molts estudis recents, i l'efecte positiu suposat a mitjà i a llarg termini ja ha estat qüestionat (Allen *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2010; Nabuurs *et al.*, 2013); particularment, en els ecosistemes en què l'aigua és el factor limitant principal (Martínez-Vilalta *et al.*, 2008; Vayreda *et al.*, 2012). Segons les projeccions de canvi climàtic (vegeu el capítol 5 d'aquest INFORME), Catalunya, i la conca mediterrània en general (IPCC, 2013), serà una de les zones més castigades del món, ja que es preveu un augment de la temperatura i un descens generalitzat de la precipitació, sobretot durant els mesos d'estiu. En aquestes condicions es reduirà encara més la disponibilitat d'aigua per als boscos i l'escalfament produirà un increment de la demanda evaporativa. Ambdós factors, separadament o sinèrgicament, comportaran, amb molta probabilitat, episodis generalitzats de mortalitat (Martínez-Vilalta *et al.*, 2012). La densificació progressiva dels boscos, que ja es produeix per la manca de gestió forestal, comportarà una reducció de la disponibilitat de recursos per arbre, la qual cosa pot ser especialment greu en una bona part de Catalunya on l'aigua ja és el factor limitant principal. La conseqüència, a llarg termini, és que els boscos catalans poden perdre la capacitat d'embornal i convertir-se en emissors nets de CO₂ (Vayreda *et al.*, 2012).

3.2.2.6. *Projecció de la capacitat d'embornal de carboni dels boscos a Catalunya fins al 2050*

En un treball encarregat recentment per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC; Banqué *et al.*,

2014) es va utilitzar un model forestal (MPI-bosc; Molowny *et al.*, 2012) per a simular la dinàmica dels boscos tenint en compte les projeccions climàtiques del model ECHAM4 i els escenaris socioeconòmics A2, com a escenari pessimista, i B2, com a escenari optimista (IPCC, 2007). El model forestal permet fer simulacions de la dinàmica forestal de les espècies per a períodes de temps de deu anys, considerant no solament les anomalies climàtiques de temperatura o precipitació, sinó també el clima i el tipus i l'estructura del bosc, que determinen la competència pels recursos. Amb aquest model es van simular tots els encreuaments d'una malla d'1 × 1 km que corresponia a la superfície forestal segons la darrera versió de l'MCSC. En els casos en què ja hi havia bosc l'any 2000, la situació inicial era la que corresponia a la parcel·la de l'IFN3, i en els casos en què no n'hi havia, es va fer correspondre amb la probabilitat d'expansió del bosc des d'alguna parcel·la arbrada propera. En qualsevol de les dues situacions es van projectar les parcel·les des de l'any 2000 fins al 2050, fet que va implicar la simulació de 20.646 encreuaments 1 × 1 per a les tres situacions plantejades: el control i els dos escenaris A2 i B2.

D'acord amb els resultats de les simulacions, els boscos de Catalunya mantindran la capacitat d'embornal fins a l'any 2050, però a partir del decenni del 2020 aquesta capacitat minvarà. D'acord amb el model, la reducció de la capacitat d'embornal serà especialment dràstica en l'escenari A2 (de fins al 95 % respecte al control durant el període 2030-2040). En canvi, en l'escenari B2 la reducció seria menys acusada, de fins al 40 % respecte a l'escenari de control durant el període 2040-2050. Quan es té en compte el conjunt de la superfície forestal, és a dir, incloent-hi, també, la superfície que l'any 2000 no era bosc, la reducció de la capacitat d'embornal és menys acusada, perquè en cinquanta anys els boscos de nova aparició encara són joves, no hi ha competència pels recursos i mantenen un creixement elevat, fet que permet compensar, en part, la capacitat d'embornal que es perd als boscos adults.

3.2.3. *Prats i pastures*

Els prats i les pastures de Catalunya són ecosistemes molt heterogenis que comprenen prats permanents sembrats, herbassars i pastures herbà-

cies permanents seminatural, i matollars i boscos pasturats. La complexitat topogràfica i climàtica de Catalunya comporta una elevada diversitat paisatgística i ecosistèmica i permet que s'hi puguin trobar des de prats alpins que formen gespes més o menys denses i contínues fins a pastures mediterrànies i semiàrides de vegetació esparsa i discontinua. A les zones alpines la vegetació és dominada per herbàcies perennes, sovint gespes de gramínies, mentre que a les mediterrànies hi ha una diversitat elevada de tipus funcionals, incloent-hi herbes anuals i llenyoses (Bello *et al.*, 2005). La diversitat de formacions vegetals implica que la capacitat d'embornal també sigui molt diversa. Per aquesta raó, resulta complex quantificar els estocs i els embornals dels prats i les pastures i també la superfície que ocupen.

3.2.3.1. Estocs i embornals de carboni als prats i pastures

L'estoc de carboni als sòls de prats i pastures de Catalunya està ben establert (Smith *et al.*, 2014; Soussana *et al.*, 2007) i pot arribar a ser molt elevat, amb valors de 59 a 299 Mg C ha⁻¹, i amb una mitjana de 153 Mg C ha⁻¹ a pastures pirinenques d'alta muntanya (Garcia-Pausas *et al.*, 2007). Aquests valors depenen de les condicions climàtiques i de la gestió (Doblas-Miranda *et al.*, 2013). Tanmateix, cal diferenciar entre l'estoc de carboni per unitat de superfície i l'estoc absolut, que dependrà de la superfície ocupada per aquestes comunitats. La superfície ocupada pot variar amb els canvis socioeconòmics i socioecològics que determinen els tipus d'ús i coberta

del sòl, que generalment presenten moltes incerteses (Doblas-Miranda *et al.*, 2013). Per aquesta raó, cal emfatitzar que el canvi climàtic coexisteix amb els canvis en l'ús del sòl, que en el cas dels prats i les pastures repercuteixen, sobretot, en una pèrdua per abandonament de les activitats agropecuàries i invasió del bosc. Álvaro Fuentes *et al.* (2011) detecten una pèrdua de gairebé el 8 % de la superfície de prats al nord-est peninsular durant el període 1997-2007, que es correspondria amb la disminució de les càrregues ramaderes i amb les pèrdues de les pastures en moltes zones. Tanmateix, l'MCSC indica un augment de la superfície d'aquestes comunitats lligat a l'abandonament de conreus i a l'efecte dels incendis, un augment que podria ser transitori en funció de la dinàmica posterior d'aquestes superfícies. Tot i que no és clar de quina manera l'abandonament de les pastures de muntanya afecta els estocs de carboni del sòl, els sòls de pastura colonitzats per arbusts semblen tenir un contingut de carboni als primers centímetres de sòl superior al de les pastures de l'entorn (Montané *et al.*, 2007). Concretament, aquests autors van estimar un increment anual de carboni en els primers quinze centímetres de sòl de 28 a 42 g C m⁻² any⁻¹ i van considerar una taxa d'acumulació lineal durant la vida dels arbusts, estimada entre dinou i trenta-dos anys.

Actualment, si tenim en compte el clima dominant a les diferents comarques de Catalunya, es pot estimar, a partir de les dades de l'MCSC més recent, que el 87 % dels prats són alpins en un sentit ampli

TAULA 3.2. Fluxos de CO₂ al pic de desenvolupament de la vegetació en prats pirinencs al llarg de gradients altitudinals mesurats en mol m⁻² s⁻¹

Localitat	Altitud (m)	NEE (intercanvi net de l'ecosistema)	Reco (respiració de l'ecosistema)
Besora	712	-6,05	4,22
La Bertolina (Navès)	1.276	-9,51	5,43
Castellar de n'Hug	1.850	-10,16	13,50
Niu de l'Àliga (Bagà)	2.479	-3,23	3,26

Els valors negatius d'NEE indiquen l'absorció neta de CO₂ per l'ecosistema. L'NEE és la productivitat neta de l'ecosistema, és a dir, la diferència entre la producció bruta i la respiració, però amb signe contrari, ja que indica un flux. Els valors positius de Reco indiquen el flux de CO₂ cap a l'atmosfera. Si la producció bruta supera la respiració, el sistema actua com a embornal per al CO₂ i l'NEE és negativa.

Font: Debouk *et al.*, inèdit.

(unes 139.000 ha) i que el 13 % són prats i pastures mediterrànies o semiàrids (unes 20.900 ha). Això constitueix el 5 % de la superfície total, però aquestes dades no reflecteixen la importància real ni l'ocupació de les pastures a Catalunya, ja que no inclouen les zones de matollars i de boscos pasturats. D'altra banda, a Catalunya hi ha una superfície de conreus de farratgeres plurianuals (de la qual 26.019 ha són de secà i 22.597 ha, de regadiu), que es pot incloure en la categoria de prats permanents sembrats.

Dos treballs recents, que tenen en compte el territori de Catalunya, proporcionen una bona estimació dels estocs de carboni als sòls dels prats, basats en models empírics (Doblas-Miranda *et al.*, 2013) o mecanicistes (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2011) desenvolupats a partir d'unes bases de dades que caldria ampliar. Doblas-Miranda *et al.* (2013) estimen que hi ha 112 Mg C ha⁻¹ als sòls dels prats peninsulars i 121,4 Mg C ha⁻¹ als de Catalunya. Álvaro-Fuentes *et al.* (2011) els estimen de 90 a 230 Mg C ha⁻¹ en

pastures alpines, una xifra que s'aproxima als valors trobats per Garcia-Pausas *et al.* (2007). En un estudi anterior (Rodríguez-Murillo, 2001), s'estimava que les pastures espanyoles acumulen 73,2 Mg C ha⁻¹, amb una desviació típica de 56,7 Mg C ha⁻¹.

Al contrari del cas dels boscos, als prats i les pastures el carboni acumulat a la biomassa és relativament baix. La quantitat de carboni acumulada a la biomassa aèria durant el màxim desenvolupament vegetatiu segons un estudi a pastures mediterrànies dels ports de Beseit fou de 4,1 Mg C ha⁻¹, mentre que la quantitat de biomassa subterrània als primers vint centímetres del sòl de les mateixes pastures fou de 7,9 Mg C ha⁻¹ (Sebastià *et al.*, inèdit), és a dir, d'un total de 12 Mg C ha⁻¹. En canvi, a pastures montanes i subalpines dels Pirineus es van trobar, en el mateix estudi, gairebé 6,9 Mg C ha⁻¹ a la part aèria i 7,8 Mg C ha⁻¹ a la part subterrània dels primers vint centímetres del sòl, és a dir, 14,7 Mg C ha⁻¹ en total (Sebastià *et al.*, inèdit). Si hi afegíssim els 93 Mg C ha⁻¹ trobats

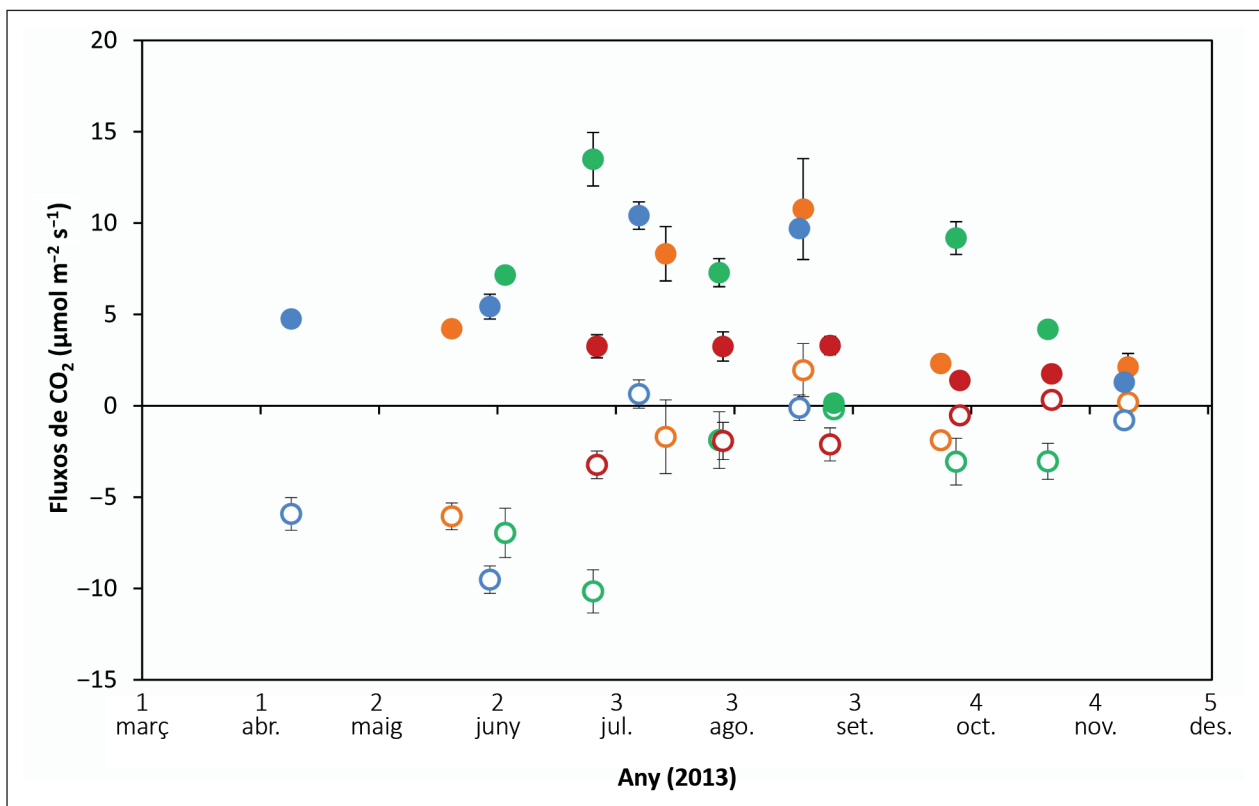


FIGURA 3.1. Fluxos de CO₂ mitjans a quatre pastures al llarg de gradients altitudinals i climàtics durant l'any 2013. Besora (712 m), rodones de color taronja; La Bertolina (1.276 m), rodones de color blau; prat de Ginebrers (1.850 m), rodones de color verd, i Niu de l'Àliga (2.479 m), rodones de color vermell. Les rodones buides representen l'NEE (intercanvi net de l'ecosistema) i les rodones plenes, la Reco (respiració de l'ecosistema). Es representen els valors mitjans ± 1SE.

Font: Debouk *et al.*, inèdit.

als sòls de la zona mediterrània i els 160 Mg C ha⁻¹ dels sòls dels Pirineus, obtindríem un total de 105 Mg C ha⁻¹ a les pastures mediterrànies i de 175 Mg C ha⁻¹ als prats alpins, respectivament, segons aquest estudi. Aquests valors s'ajusten als trobats en altres estudis i als estimats a partir dels models (Garcia-Pausas *et al.*, 2007; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2011; Doblas-Miranda *et al.*, 2013). A diferència dels boscos, doncs, als prats els estocs de carboni principals es troben sobretot al sòl i, per tant, són relativament menys vulnerables que els acumulats a la biomassa dels boscos, per exemple, davant dels grans incendis.

Pel que fa als fluxos de CO₂, les pastures catalanes semblen més aviat un embornal de carboni, però això també depèn del tipus de pastura i de la localitat on es troben. Debouk *et al.* (inèdit) troben que la productivitat neta de les pastures de muntanya augmenta amb l'altitud però torna a davallar a l'estatge alpi, on es troben les pastures d'altitud més elevada (taula 3.2 i figura 3.1).

3.2.3.2. Estabilitat de l'estoc i l'embornal als prats i pastures

Les estimacions de les variacions temporals dels estocs i els embornals dels prats i les pastures de Catalunya indiquen una pèrdua del carboni al sòl (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2011). En un escenari de canvi climàtic, incloent-hi un augment de la temperatura i una disminució de la precipitació, el contingut de carboni al sòl podria disminuir (Debouk *et al.*, inèdit; Doblas-Miranda *et al.*, 2013; Sjögersten *et al.*, 2012). Si la temperatura pugés i la precipitació decreixés també es veurien amenaçades la biomassa aèria i la productivitat de les pastures, i les condicions de les zones mediterrànies actuals es tornarien més àrides, mentre que les de les zones alpines actuals esdevindrien més mediterrànies. Una pèrdua general de la productivitat comportaria menys carboni a la biomassa aèria i al sòl, tot i que sembla que l'estoc de carboni a la biomassa subterrània es podria mantenir en alguns casos (Sebastià *et al.*, inèdit).

3.2.3.3. Eines per a mantenir o millorar l'eficiència en la capacitat d'embornal i en el manteniment de l'estoc

La pèrdua de carboni als ecosistemes de prats i pastures, tant seminaturals com sembrats, en les

condicions de canvi climàtic esperades per a Catalunya es podria mitigar amb una gestió apropiada. Per tal de millorar la capacitat dels prats permanents sembrats d'emmagatzemar carboni al sòl, Lüscher *et al.* (2014) proposen un paquet de mesures que inclouen l'augment de la diversitat sembrada i la combinació d'espècies lleguminoses amb gramínies. A Catalunya, un estudi recent confirma que les barreges d'espècies farratgeres presenten un potencial elevat per a mitigar els gasos amb efecte d'hivernacle (Ribas *et al.*, 2015). Altres tècniques que s'han considerat favorables a l'emmagatzematge de carboni als sòls inclouen la sembra directa (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2011). Una càrrega ramadera adequada també permetria mantenir l'estoc de carboni als sòls de les pastures, a més de mantenir la biodiversitat i altres béns i serveis d'aquests ecosistemes (Smith, 2014).

3.2.4. Agricultura

3.2.4.1. Mètodes d'avaluació dels embornals agrícoles

La metodologia emprada per a avaluar els sistemes agrícoles com a embornals de carboni va ser diferent segons la disponibilitat de la informació. En el cas dels conreus llenyosos, es van construir relacions entre la biomassa o, si no era possible, altres variables biomètriques i l'edat, partint d'informació cercada a la literatura i a les mesures de biomassa destructives i no destructives (Funes *et al.*, 2015). El conjunt de dades emprades per a construir aquestes relacions va ser heterogeni quant a les varietats, els marcs de plantació, els portaempelts, els règims de conreu, els sistemes de conducció, els tipus de sòl, etc., però sempre d'ambients mediterranis. Es van establir diferents equacions d'acord amb els diferents patrons dels conreus llenyosos: olivera, vinya, fruiters no cítrics de pinyol, fruiters no cítrics de llavor i fruiters cítrics (taula 3.3); i només es va avaluar la part llenyosa de les plantes (la part aèria i la part subterrània). Per a avaluar els fruiters de fruita seca (de closca), es van fer servir les equacions construïdes per als fruiters de pinyol, ja que no es disposava d'informació més específica. El segrest anual de cada tipus de conreu llenyós es va estimar ponderant-lo per la superfície segons els grups d'edat establerts i considerant els marcs de plantació més estesos al territori (taula 3.4).

TAULA 3.3. Equacions emprades per a estimar la biomassa aèria i subterrània dels conreus llenyosos

Conreu	Part aèria		Part subterrània	
Vinya	$Biomassa\ aèria = 9,7947e^{1,2506\ edat}$	fins als tres anys	[1]	$R:S = 1,743\ edat^{-0,344}$ ^a
	$Biomassa\ aèria = 1.814,9\ ln(edat) - 1.615,8$	dels quatre als trenta-cinc anys	[2]	
Olivera ^b	$ABT = 4,4888\ edat^{1,5636}$	fins als vuit anys	[3]	30 % de la biomassa aèria
	$ABT = 276,96\ ln(edat) - 479,96$	dels vuit als cent cinquanta anys	[4]	
Fruiters cítrics	$Biomassa\ aèria = 0,1718\ edat^2 - 0,8967\ edat$	fins als quinze anys	[5]	30 % de la biomassa total de la planta
Fruiters de llavor	$Biomassa\ aèria = 0,0086\ edat^2 - 0,6541\ edat$	fins als vint-i-cinc anys	[6]	30 % de la biomassa aèria
Fruiters de pinyol	$Biomassa\ aèria = 2,2633\ edat^2 - 5,1189\ edat + 3,2601$	fins als quatre anys	[7]	30 % de la biomassa total de la planta
	$Biomassa\ aèria = 24,506\ ln(edat) - 15,172$	dels quatre als quinze anys	[8]	

a. R:S és la relació entre la part subterrània de la biomassa i la part aèria de la biomassa (adimensional). L'equació número 9 va ser construïda a partir de dades de mesures destructives.

b. ABT és l'àrea basal del tronc (cm²). La biomassa aèria de l'olivera es va estimar a partir de l'ABT, fent servir una relació ABT-biomassa aèria publicada en la literatura. En totes les equacions de la taula la biomassa aèria és expressada en kg/arbre (pes sec) i l'edat, en anys. L'estimació de la part subterrània es basa en relacions amb la part aèria o el total de la planta publicades en la literatura: olivera (Nardino *et al.*, 2013), fruiters cítrics (Mattos *et al.*, 2013), fruiters de llavor (Panzzachi *et al.*, 2012) i fruiters de pinyol (Xiloyannis *et al.*, 2007).

TAULA 3.4. Segrest anual de carboni per tipus de conreu llenyós i trams d'edat

	Segrest (Mg C ha ⁻¹ any ⁻¹) ^a per grups d'edat				Marcs de plantació ^b
	0-10 anys	11-20 anys	21-30 anys	> 30 anys	
Vinya	0,61	0,17	0,09	0,07	2.000-3.000 ceps ha ⁻¹
Olivera	0,26	0,47	0,22	0,1	100-200 arbres ha ⁻¹
	0,26	0,47	0,22	0,1	
Llavor	0,87	1,06	1,22	~ 0 ^c	1.000-3.000 arbres ha ⁻¹
	0,87	1,06	1,22	~ 0 ^c	
Pinyol	2,65	1,28	0,75	~ 0 ^c	500-1.000 arbres ha ⁻¹
	2,65	1,28	0,75	~ 0 ^c	
Closca	0,61	0,24	0,17	~ 0 ^c	100-300 arbres ha ⁻¹
	0,61	0,24	0,17	~ 0 ^c	
Cítrics	1,54	4,37	6,69	~ 0 ^c	500-1.000 arbres ha ⁻¹
	1,54	4,37	6,69	~ 0 ^c	

a. Pendent de la corba de l'equació per l'estimació de la biomassa (taula 3.3) per a cada tram d'edat.

b. Marc de plantació més representatiu del territori.

c. En tots els fruiters la corba de creixement s'acaba a partir d'aquesta edat perquè no disposem de més dades. Per tant, es considera que a partir d'aquí ja no hi ha creixement.

Per als conreus herbacis (cereals, conreus farratgers i conreus industrials), la metodologia es va basar en l'estimació de la producció primària neta (PPN) desenvolupada a Bolinder *et al.* (2007). La biomassa de conreus herbacis, com que la collita és anual, es va ponderar en funció dels mesos que el conreu es troba al camp durant un any segons el cicle vegetatiu. En tots els casos, la biomassa aèria i subterrània va ser transformada en contingut de carboni fent servir la relació: 1 g biomassa (pes sec) = 0,45 g C (Greer *et al.*, 2009).

El contingut de carboni a la biomassa de conreus llenyosos va ser regionalitzat a tot Catalunya a escala comarcal, partint de la informació oficial relativa a l'edat del conreu, la densitat de plantació i la superfície del conreu (de diferents registres agrícoles catalans, el SIGPAC i l'ESYRCE), i, en el cas dels conreus herbacis, de les dades oficials sobre produccions comarcals (d'estadístiques agràries i del DARP) i superfície (com ara el DUN-SIGPAC)

3.2.4.2. Conreus llenyosos

L'estoc de carboni mitjà per hectàrea de la biomassa dels conreus llenyosos varia molt segons el tipus d'espècie i de variables agronòmiques com ara la densitat de plantació i l'edat. En el cas de la vinya, els valors es poden moure de 4,9 a 11,5 Mg C ha⁻¹ en vinyes madures (trenta-cinc anys), segons la densitat de plantació. Per a oliveres madures (més de cinquanta anys), els valors poden arribar fins a 18,7 o 26,7 Mg C ha⁻¹, depenent de la densitat de plantació. Amb relació als fruiters, els valors varien segons el tipus de fruiter. Així, els de llavor poden arribar a valors de fins a 25,4 o 38,1 Mg C ha⁻¹, depenent de la densitat de plantació, en sistemes madurs (vint-i-cinc anys); els de pinyol assolirien uns valors de 15 a 30 Mg C ha⁻¹ en conreus madurs (quinze anys), segons la densitat de plantació; els de closca podrien assolir valors de 8 a 16 Mg C ha⁻¹, depenent de la densitat de plantació, en conreus de més de vint anys, i, finalment, els cítrics podrien emmagatzemar de 46,9 a 75 Mg C ha⁻¹ en conreus madurs (setze anys), segons la densitat de plantació. Tots aquests resultats estan en consonància amb els valors publicats en la literatura científica: per a la vinya (Williams *et al.*, 2011); l'olivera (Palese *et al.*, 2013); els fruiters cítrics (Quiñones *et al.*, 2013), els fruiters de llavor (Panzacchi *et al.*, 2012) i els fruiters de pinyol (Xi-

loyannis *et al.*, 2007). Actualment, a Catalunya el conreu de la vinya implicaria un estoc de carboni de 0,26 Tg C, el de l'olivera, d'1,68 Tg C, i el dels fruiters, de 2,11 Tg C; de manera que la totalitat dels conreus llenyosos sumaria uns 4 Tg C. Quant a la distribució geogràfica de l'estoc de carboni, destaquen les comarques de la plana de Lleida i del sud de Tarragona, on l'estoc de carboni és més elevat, ja que és en aquestes zones que es concentra la superfície més gran de conreus llenyosos, com ara els fruiters i l'olivera (figura 3.2). S'estima que a tot Catalunya actualment s'emmagatzemen 4,7 Mg C ha⁻¹, 13,4 Mg C ha⁻¹ i 13,9 Mg C ha⁻¹, en el cas de la vinya, l'olivera i els fruiters, respectivament. De mitjana, a Catalunya els conreus llenyosos mantenen un estoc de carboni mitjà de 12,1 Mg C ha⁻¹.

El segrest anual mitjà dels conreus llenyosos comporta uns 0,42 Mg C ha⁻¹ any⁻¹. Els valors de segrest diferenciat per tipus de conreu són de 0,24, 0,16, 0,67, 0,88, 0,13 i 3,5 Mg C ha⁻¹ any⁻¹ per a la vinya, l'olivera, els fruiters de pinyol, els fruiters de llavor, els fruiters de closca i els cítrics, respectivament. El valor absolut d'aquest segrest anual s'ha calculat multiplicant-lo per la superfície de cada tipus de conreu. En total, els conreus llenyosos catalans segrestarien uns 0,14 Tg C any⁻¹, dels quals els fruiters no cítrics representarien més del 50 %, els cítrics, gairebé el 24 %, l'olivera, el 14 % i la vinya, el 10 %.

3.2.4.3. Conreus herbacis

A Catalunya, aquests conreus ocupen una gran quantitat de superfície, de manera que representen un estoc de carboni gens negligible si tenim en compte la biomassa que es manté durant una època de l'any. Actualment, per a aquests conreus es pot considerar un estoc de carboni absolut de 0,42 Tg C, distribuït majorment per tota la plana central i les comarques gironines del nord-est (figura 3.3.b). Els estocs de carboni per hectàrea als conreus herbacis depenen molt del tipus d'espècie quant a la biomassa que són capaços de produir, de la localització (gradient altitudinal i latitudinal), del règim de cultiu i també de la durada del cicle vegetatiu (figura 3.3.a). D'aquesta manera, els conreus que poden assolir valors més elevats són el blat de moro, amb valors de fins a 2,2 Mg C ha⁻¹ a les comarques empordaneses, el sorgo o mel-

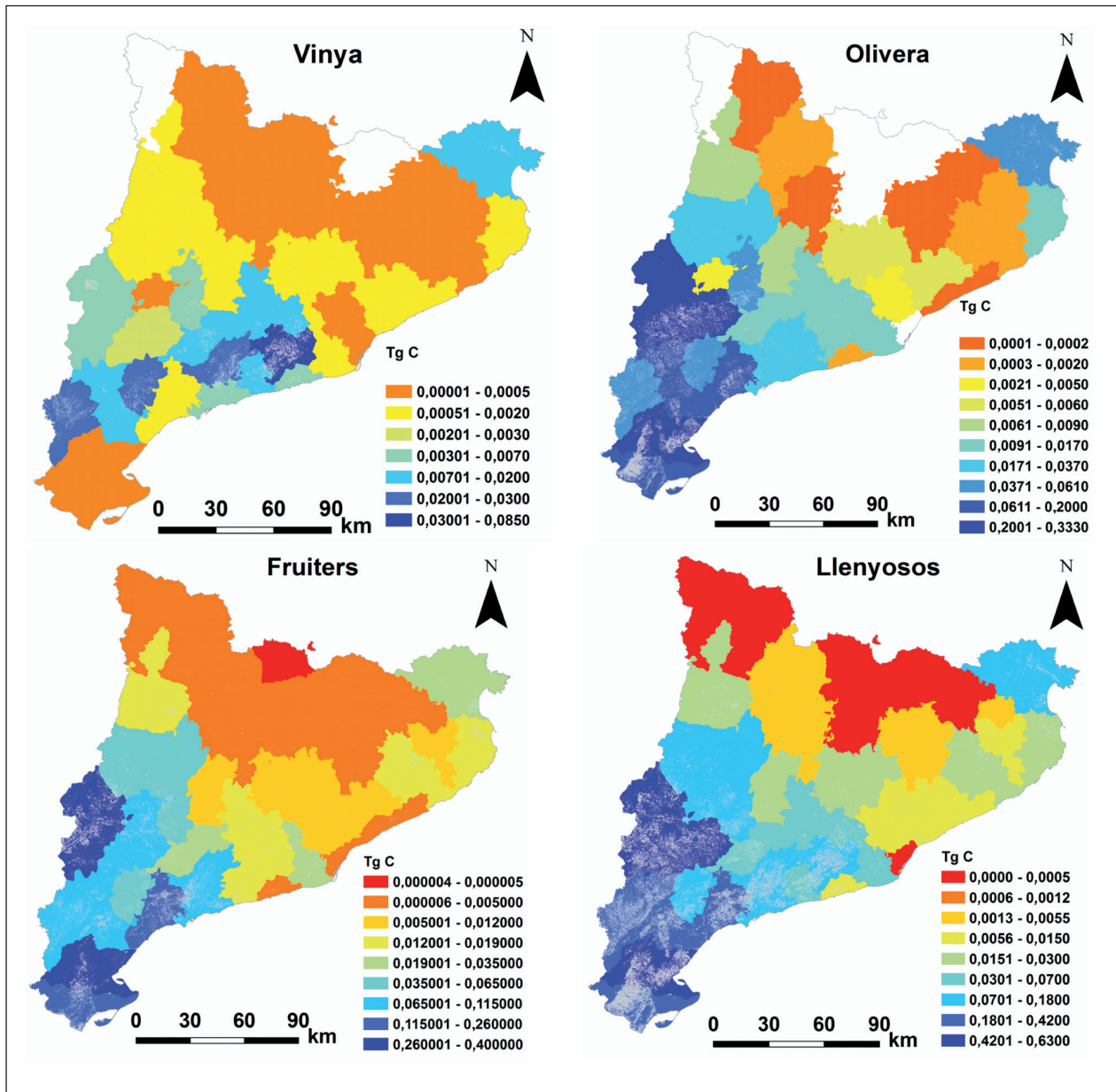


FIGURA 3.2. Distribució comarcal de l'estoc de carboni actual als conreus llenyosos a Catalunya. L'ombregat gris representa la distribució dels conreus. La superfície en blanc correspon a les comarques que no presenten aquest tipus de conreu, en el cas de la vinya i l'olivera.

ca, amb $2,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a l'Urgell, i l'arròs, amb $1,37 \text{ Mg C ha}^{-1}$ al Montsià. En el cas dels cereals d'hivern, com ara el blat o l'ordi, els valors mitjans per a tot Catalunya són de $0,80$ i $1,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivament. Per als conreus farratgers, com ara l'alfals, l'estoc mitjà és de $0,41 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

A Catalunya els conreus herbacis mantenen en estoc $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de mitjana. La distribució comarcal mostra que les comarques del nord de Girona, el Segrià i les comarques del sud de Tarragona presenten unes densitats de carboni més altes per

les característiques dels conreus herbacis de la zona: la distribució territorial, el tipus i el règim de conreu, el cicle, etcètera.

3.2.4.4. Estocs de carboni als sòls agrícoles

En el SICCC es reflectia un progrés en la quantitat i la qualitat de les dades disponibles per a l'inventari de carboni orgànic dels sòls agrícoles. Les dades cobrien, principalment, els sòls agrícoles de les Terres de l'Ebre i de la franja occidental de Catalunya (Grañana *et al.*, 2009; Costa, 2004), i darrerament se n'han recollit més, de manera

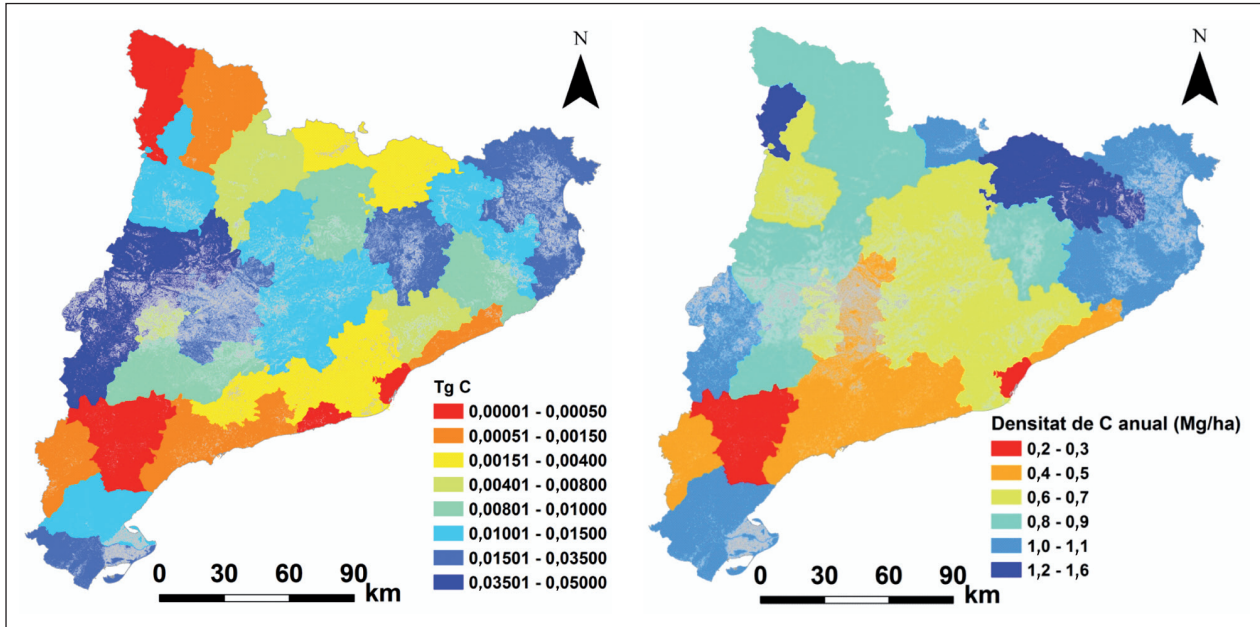


FIGURA 3.3. Distribució comarcal de l'estoc de carboni absolut en Tg C (a) i mitjana en tones de carboni per hectàrea (b) dels conreus herbacis a Catalunya. L'ombregjat gris representa la distribució dels conreus.

que cobreixen bona part del territori català. Les reserves mitjanes fins a 1 m de fondària, que podem considerar que s'apropen molt al total, són de 93,4 Mg C ha⁻¹ a la franja occidental de Catalunya i de 107,0 Mg C ha⁻¹ a les Terres de l'Ebre. Es tracta de dades prou representatives dels sòls agrícoles de la Catalunya mediterrània semiàrida; per tant, manca processar les dades existents d'altres comarques més humides i integrar tota aquesta informació en models que permetin estendre a tot el territori l'estimació dels reservoris de carboni orgànic en sòls agrícoles, com ja s'ha fet als sòls forestals (Doblas-Miranda *et al.*, 2013).

3.2.4.5. Interfase conreu/bosc

L'abandonament de zones agrícoles marginals de baixa productivitat i la construcció d'innombrables vies de comunicació provoca una heterogeneïtat espacial i una fragmentació del paisatge que pot tenir implicacions en el camp hidrològic, de la biodiversitat, dels fluxos d'energia i nutrients, etc. (Young, 2006). Aquesta fragmentació del paisatge provoca que hi hagi zones de transició o ecotons en què conviuen espècies de dos hàbitats diferents (com ara el conreu i el bosc), que no pertanyen a la mateixa successió (Forman, 2004). La relació que s'estableix en aquesta interfase bosc/cultiu és important no solament des del punt de

vista de la capacitat d'embornal, sinó per altres fenòmens com ara el risc d'erosió o d'incendi, la pèrdua o no de la diversitat, etcètera.

En estudis anteriors (Funes *et al.*, 2013), es van fer estimacions de l'estoc de carboni, d'una banda, en bosquines secundàries de pinedes de *Pinus nigra* i *P. halepensis* poc denses i joves, que poden aparèixer després de l'abandonament agrícola, i, d'altra banda, en conreus llenyosos de secà madurs, com ara la vinya (fins a trenta-cinc anys) i l'olivera (més de cinquanta anys). Els resultats van mostrar que la vinya pot arribar a emmagatzemar carboni en graus similars (fins a 11,5 Mg C ha⁻¹) a les bosquines secundàries, les quals emmagatzemarien de 3,5 a 16,5 Mg C ha⁻¹. A més a més, aquests conreus ofereixen altres serveis ambientals i/o socioeconòmics afegits, com ara un risc més petit d'incendi, un valor econòmic més gran, la regulació del cicle de l'aigua, etc. La comparació de les bosquines secundàries encara és més desfavorable si es fa amb l'olivera, ja que el potencial que té com a embornal de carboni igualaria i, fins i tot, superaria (amb 40 Mg C ha⁻¹) el de les pinedes de *P. halepensis* i *P. nigra*.

Amb relació a l'estabilitat dels estocs de carboni, els sistemes agrícoles tenen la mateixa durada i/o

feblesa temporal que les comunitats naturals, ja que cal no oblidar que són individus d'espècies naturals millorades per algunes característiques productives. Per tant, cal valorar que a les nostres condicions mediterrànies, a les quals les polítiques REDD no es tenen en compte, el manteniment de l'agricultura a molts llocs on el bosc (cal pensar que les masses de pins mediterranis són matollars alts) gairebé no és viable, a causa de trobar-se per sota dels 400 mm de pluja, és una manera de produir i guardar carboni en la temporalitat pròpia de cada espècie.

La temporalitat dels conreus llenyosos, tant en secà com en regadiu, es troba entre els vint-i-cinc i els trenta anys, un valor igual o superior al dels cicles de tala d'algunes espècies forestals i/o als incendis forestals, malauradament tan freqüents. Tanmateix, s'ha de valorar la funció socioeconòmica que aquests conreus generen, sempre molt superior a la de les masses forestals secundàries, generalment de pinàcies i/o de quercínies de creixement lent.

Cal valorar el paisatge agrícola actual perquè s'ha mostrat com un bon embornal de carboni, però sobretot per totes les altres funcions socioeconòmiques (com ara la generació de producte interior brut, l'establiment i el manteniment de població, el manteniment cultural, la salvaguarda del paisatge, etc.) i ecosistèmiques (com ara la regulació dels cicles d'aigua, nutrients i carboni, el manteniment de la biodiversitat, el control d'incendis, la reducció de l'erosió, etc.) que realitza.

3.3. Aigües continentals

Les aigües continentals són, en bona part, sistemes de transició que canalitzen el transport de carboni des dels sistemes terrestres cap als marins i que només segresten una fracció relativament baixa de carboni. La contribució com a embornal, sobretot, té lloc als sistemes lenítics (estanyes, embassaments i aiguamolls), on es produeix una acumulació constant, i habitualment permanent, de sediment. Als rius, la retenció de sediments és més feble i inestable. Una bona part del sediment acabarà a la zona de confluència amb el mar o es dipositarà a les vores. En el darrer cas, es convertirà progressivament en un sòl o serà transportat de nou riu avall durant episodis extrems de riuada.

Una altra qüestió són les aigües subterrànies i els aqüífers, que no tractem en aquest capítol.

Pel que fa a l'estoc, el carboni que observem en un volum d'aigua es pot trobar en forma inorgànica, al sistema carbònic-carbonats, i en forma orgànica, sia com a organismes aquàtics que formen part de la xarxa tròfica de l'ecosistema o bé com a carboni al·lòcton, com, per exemple, restes de vegetació o substàncies orgàniques dissoltes que s'han originat als sistemes terrestres. La quantitat de formes inorgàniques sobretot depèn de la naturalesa de la roca de la conca que recull l'aigua. Com que una gran part dels sistemes aquàtics de Catalunya es troben en conques amb abundància de roques carbonatades, el contingut de carboni inorgànic és normalment elevat, de prop de trenta vegades el contingut de carboni orgànic. Les aigües continentals habitualment es troben sobresaturades de CO_2 i, per tant, són font i no pas embornal (Catalan *et al.*, 2014b; López *et al.*, 2011; Marcé *et al.*, 2015; Schiller *et al.*, 2014). Tot i això, l'estoc pot variar molt d'un any a l'altre segons el cabal dels rius i, en darrera instància, la precipitació i la forma en què es produeix (Gallart *et al.*, 2011). D'una manera només orientativa, per comparar-ho amb altres sistemes, als embassaments es poden estimar 29 Mg C ha^{-1} en forma inorgànica i 1 Mg C ha^{-1} en forma orgànica (Palau *et al.*, 2010). Als rius les quantitats no són gaire diferents, amb 17 i $0,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivament. Els estanys de muntanya són d'aigües poc mineralitzades i emmagatzemen poc carboni. Així, doncs, els ecosistemes aquàtics continentals de Catalunya deuen tenir un estoc en l'aigua de $0,33 \text{ Tg C}$, dels quals només d'un 3 a un 4 % es troba en compostos orgànics.

Cal considerar només els sediments de sistemes lenítics com a embornal propi dels sistemes aquàtics continentals. L'acumulació de carboni als sediments també es pot produir en forma de carboni orgànic o de carbonats precipitats. El carboni orgànic pot provenir de la fixació de CO_2 al·lòcton a la part terrestre de la conca o a medis aquàtics tributaris a la massa d'aigua, o pot ser de producció autòctona, quan la fixació té lloc a la mateixa massa d'aigua. Normalment, excepte en aigües verdes molt productives, la primera sobrepassa la segona. Per tant, els sediments també emmagatzemen d'una manera permanent una part del car-

boni fixat per la vegetació terrestre. L'enterrament de carbonats només constitueix un embornal net de CO_2 atmosfèric en la mesura que els cations que faciliten la dissolució de CO_2 a l'aigua (formant bicarbonats i carbonats) provenen de la meteorització de roques no carbonatades (Catalan *et al.*, 2014a). Si no és així, si vénen de la meteorització de roques calcàries, no és un segrest net, atès que s'enretira una quantitat equivalent a la que primer s'ha alliberat en un altre punt. Per tant, l'acumulació de carboni orgànic als sediments és la que té més interès com a embornal de l'excés de carboni atmosfèric.

La deposició de carboni als sediments dels sistemes aquàtics continentals pot ser elevada per unitat de superfície, però com a embornals no acaben de ser rellevants perquè la superfície que ocupen és relativament petita. Si considerem tots els tipus de sistemes, incloent-hi les molles i els aiguamolls, que es troben a cavall del medi aquàtic i del terrestre, la superfície ocupada pels sistemes aquàtics continentals és de prop del 0,5 % del territori de Catalunya, segons l'MCSC més recent (2009). Dels que actuen com a embornals, els embassaments són els que ocupen més territori (0,2 %) i la resta queda molt repartida, sense diferències remarcables, entre els estanys i les basses d'alta muntanya, els estanys i les basses d'interior, les llacunes litorals, les basses i els estanyols salabrosos i les molles.

Els embassaments són els sistemes que més carboni segresten. Com que es troben intercalats en trams de rius amb un cabal considerable, hi ha una entrada important de matèria orgànica externa, una part de la qual pot sedimentar, i una càrrega de nutrients que pot donar lloc a una producció primària pròpia elevada. La quantitat que pot acabar enterrada per superfície de sediment és de 1.000 a 5.000 $\text{g C m}^{-2} \text{any}^{-1}$ (Palau *et al.*, 2010), tot i que variarà molt segons la situació de l'embassament i la situació de la cua a la presa. Els estanys, els estanyols i les basses presenten unes càrregues d'entrada molt inferiors a les dels embassaments, i això queda reflectit en la minsa capacitat per a segrestar carboni. Els estanys d'alta muntanya, molt poc productius i situats en conques poc vegetades, es mouen entre l'1 i els 10 $\text{g C m}^{-2} \text{any}^{-1}$ de superfície de sediment (Cata-

lan *et al.*, 2002). Només els situats en cotes més baixes i conques aforestades presenten valors més elevats i semblants als de la resta d'estanys i llacunes del territori, de 100 a 1.000 $\text{g C m}^{-2} \text{any}^{-1}$. Les molles també es mouen en aquest interval, encara que el sediment és més orgànic, el creixement és lent i hi ha poc transport horitzontal que afegeixi material al·lòcton.

Per a passar d'aquestes taxes d'acumulació als sediments a unitats de superfície del que els sistemes ocupen al territori, cal tenir en compte que l'àrea d'acumulació permanent de sediment només és una fracció de tota la superfície del sistema. Les dues àrees poden ser molt similars, com en el cas de les molles, o la d'acumulació es pot reduir a una desena part de la total, com en alguns estanys profunds de muntanya. Tenint això present, podem estimar que els embassaments segresten prop de 20 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{any}^{-1}$. Els altres tipus de sistemes es trobarien en un interval de 0,01 a 0,55 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{any}^{-1}$ per als estanys de muntanya poc productius, i de 2 a 6 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{any}^{-1}$ per a la resta. Tot plegat, implica entre 0,05 i 0,19 Tg C any^{-1} de segrest net per part de tots els sistemes aquàtics continentals de Catalunya, és a dir, en termes mitjans, 0,12 Tg C any^{-1} o 7 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{any}^{-1}$, dels quals el 83 % té lloc als embassaments.

3.4. Sistemes marins

L'intercanvi de CO_2 entre l'atmosfera i els oceans s'esdevé per la diferència en la pressió parcial d'aquest gas entre l'aire i l'aigua, i existeixen diversos mecanismes que afavoreixen aquesta transferència. D'una banda, el fet que quan el CO_2 es dissol, a diferència d'altres gasos com ara l'oxigen, reacciona amb l'aigua, es dissocia i dona lloc a tres formes inorgàniques, lligades estretament entre si mitjançant equilibris químics: el bicarbonat (90 %), el carbonat (9 %) i el CO_2 aquós (1 %), que integren el que anomenem *carboni inorgànic dissolt* (DIC). Aquesta dissociació permet que els oceans puguin absorbir fins a deu vegades més CO_2 que en absència d'aquests equilibris. Un segon mecanisme, en aquest cas físic, és la bomba de solubilitat, que fa referència a la solubilitat més gran del CO_2 en aigües fredes i a la transferència d'aquest CO_2 en superfície cap al fons mitjançant la formació d'aigües profundes a les latituds altes. En tercer lloc, tenim la bomba biològica, en

la qual podem diferenciar la bomba del carboni orgànic i la bomba del carbonat. En el primer cas, ens referim a la fixació d'aquest CO_2 per part dels organismes marins que el transformen en matèria orgànica per mitjà de la fotosíntesi, la qual posteriorment és exportada a capes més profundes dels oceans, on pot ser segrestada en escales més llargues de temps. La bomba del carbonat actua en sentit contrari: la precipitació d'esquelets carbonatats per part d'alguns organismes marins implica l'alliberament de CO_2 a la columna d'aigua. L'eficàcia relativa d'aquests dos darrers processos serà, per tant, la que determinarà l'efecte net de la bomba biològica en el CO_2 atmosfèric.

L'absorció i l'emmagatzematge de carboni es calcula a partir d'observacions i mesures de paràmetres del sistema del carboni oceànic, a més d'altres traçadors, recollits en unes dotze mil estacions distribuïdes per tots els mars i els oceans (GLODAP; Key, 2004). En aquests moments, la millor estimació pel que fa a l'inventari de carboni antropogènic és de $155 \pm 31 \text{ Pg C}$ per al període 1750-2010 (Khatiwala *et al.*, 2013). No obstant això, regionalment la capacitat de mars i oceans per a actuar com a embornals és heterogènia, i en el cas de la mar Mediterrània, a més, aquesta informació és limitada. Malgrat que només representa el 0,8 % de la superfície global dels oceans, la mar Mediterrània té una elevada capacitat per a absorbir CO_2 (Schneider *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2011). Això és degut, d'una banda, a l'alcalinitat més gran de les aigües, que permet absorbir més CO_2 de l'atmosfera, i, de l'altra, a una circulació oceànica molt activa que transporta aquest CO_2 cap a capes més profundes. Aquestes dues característiques ocasionen que l'absorció de CO_2 hagi estat molt més ràpida a la Mediterrània que a la resta de mars i oceans, amb un inventari total de carboni d'1,7 Pg fins a l'any 2001, calculat a partir d'un transecte est-oest al llarg de la Mediterrània (Schneider *et al.*, 2010) i corresponent, aproximadament, a l'1,1 % del carboni antropogènic acumulat a tots els mars i oceans, malgrat que la mar Mediterrània tan sols conté el 0,3 % del volum d'aigua de tots els oceans. Pel que fa a la mar catalana (assumint una superfície de 74.000 km² i a partir dels valors obtinguts per Schneider *et al.*, 2010), a la Mediterrània occidental podem obtenir una estimació aproximada de la capacitat d'embornal

de la nostra mar des del 1750 fins al 2001, que seria d'uns 89 Tg C.

I en el nostre entorn més proper, les fanerògames marines, els components principals de l'ecosistema marí costaner català, juguen un paper molt rellevant en el segrest d'aquest CO_2 , que es coneix com a *blue carbon*. Concretament, la *Posidonia oceanica*, la fanerògama endèmica més abundant a la mar Mediterrània, forma extenses praderies des de la superfície fins a 40 m de profunditat i presenta una productivitat elevada. A més, aquestes praderies són altament estables (amb taxes de descomposició baixes), cosa que dóna lloc a la formació d'un dipòsit orgànic, conegut com a *matte* o *mata*, que es pot reservar al sediment durant milers d'anys (Mateo *et al.*, 1997; Serrano *et al.*, 2012), i constituir, així, un embornal important de carboni. S'estima que prop del 30 % de la producció total s'acumula al sediment (Pergent *et al.*, 1994). En aquest sentit, l'estudi realitzat en un testimoni de 475 cm obtingut en una praderia de *P. oceanica* de la badia de Portlligat mostra uns dels valors més alts d'acumulació de carboni, tant a la planta ($7,3 \text{ Mg C ha}^{-1}$) com als sediments (372 Mg C ha^{-1}), quan el comparem amb un recull de praderies de tot el planeta (Lo Iacono *et al.*, 2008; Fourqurean *et al.*, 2012). A les illes Balears trobem el dipòsit sedimentari documentat més ric en carboni de totes les fanerògames estudiades, que correspon a una acumulació de 700 Mg C ha^{-1} en 10 m de sediment i quatre mil anys de creixement (Serrano *et al.*, 2014). Es calcula que la quantitat de carboni acumulat en aquestes praderies equival a cent cinc anys d'emissions de CO_2 de les illes Balears (Pergent *et al.*, 2012), cosa que les converteix en un dels embornals de carboni més eficients del món (Serrano *et al.*, 2014). L'acumulació de carboni en praderies de *P. oceanica* a la mar Mediterrània és comparable amb l'acumulat a aiguamolls o torberes i fins i tot superior (Serrano *et al.*, 2014). En el cas de la mar catalana, podem fer una estimació de la capacitat d'embornal de les fanerògames marines a partir d'un treball recent en què s'ha estimat la superfície de les praderies de *P. oceanica* (6.123 ha) i *Cymodocea nodosa* (3.612 ha; Romero, *et al.*, 2015) al litoral català. Si prenem uns valors d'acumulació de carboni de 30 a 37 kg C/m², calculats a partir dels treballs realitzats a Portlligat (Lo Iacono *et al.*, 2008; Serrano *et*

al., 2012), les illes Medes i el cap de Creus (Mateo *et al.*, 1997), i assumim un gruix mitjà de mata de 2 m, obtenim una acumulació de carboni orgànic total d'1,8 a 2,3 Tg C en praderies de *P. oceanica* i de 2,9 a 3,6 Tg C si considerem, també, l'extensió de *C. nodosa*.

Malauradament, l'estabilitat d'aquests embornals de carboni es veu amenaçada per diverses pressions antròpiques, amb la pèrdua consegüent de la capacitat per a seguir segrestant carboni. Tot i que les causes principals de la desaparició de *P. oceanica* són degudes a impactes locals al litoral, com ara l'eutrofització, la construcció al llarg de la costa o el turisme, que degraden la qualitat de l'aigua i del sediment i augmenten l'erosió de les praderies, fenòmens d'un caràcter més global o regional, com ara l'arribada d'espècies invasores o l'augment de la temperatura i del nivell del mar, també amenacen seriosament aquests ecosistemes. Un treball recent apunta cap a una disminució del 13 al 38 % en l'extensió de praderies de *P. oceanica* de la Mediterrània occidental durant els darrers cinquanta anys (Marbà *et al.*, 2014). La degradació d'aquests ecosistemes allibera carboni, no solament associat a la pèrdua de la planta, sinó també a la remineralització de la matèria orgànica acumulada als primers metres de sediment. Es calcula que la pèrdua actual d'aquestes praderies a escala global, un 5 % cada any des del 1980 (Waycott *et al.*, 2009), podria comportar el 10 % de les emissions atribuïdes als canvis d'ús dels sòls (Fourqurean *et al.*, 2012).

3.5. Conclusions

En aquest capítol s'ha fet un esforç important per a elaborar una determinació raonada i raonablement fiable dels estocs i els embornals de carboni, tant en valor relatiu (per unitat de superfície) com en valor absolut, dels diferents sistemes tant terrestres com marins. En alguns casos, a causa de l'escassa informació de base existent, aquest esforç ha implicat partir d'unes assumpcions que inevitablement han comportat unes estimacions encara molt grolleres. En el futur s'espera que es puguin elaborar aproximacions més fiables i precises. Aquest esforç queda sintetitzat a la taula 3.5., en la qual es donen els valors globals per a tot Catalunya de la quantitat de carboni emmagatzemat (l'estoc de carboni) i de carboni segrestat

anualment (capacitat d'embornal) per a cada sistema i subsistema. Els casos per als quals encara no hi ha prou informació disponible s'han deixat en blanc. El detall de les diferents metodologies de càlcul, fonts d'informació utilitzades i assumpcions que s'han tingut en compte en cada cas es poden trobar en l'apartat corresponent d'aquest capítol.

Pel que fa a l'estoc mitjà de carboni (sumant la vegetació i el sòl), el sistema terrestre que més carboni manté en estoc, encara que per un marge estret, és el bosc, amb 149,5 Mg C ha⁻¹, perquè és el que acumula més carboni a la vegetació (56 Mg C ha⁻¹). Atès que els sòls dels prats són els que més carboni emmagatzemen (121,4 Mg C ha⁻¹), els trobem en la segona posició. En un terme mitjà se situen els conreus llenyosos i els matollars, amb 104,0 Mg C ha⁻¹ i 112,1 Mg C ha⁻¹, respectivament. En la darrera posició hi ha els conreus herbacis, amb 100,8 Mg C ha⁻¹, perquè mantenen menys d'1 Mg C ha⁻¹ a la vegetació.

La mar catalana ha acumulat, segrestant-lo de l'atmosfera des del 1750 fins al 2001, 12 Mg C ha⁻¹, un valor molt semblant a l'estoc dels matollars o dels conreus de llenyoses. Encara són més destacables les praderies de *P. oceanica* i *C. nodosa*, que acumulen 330 Mg C ha⁻¹ (incloent-hi la planta i 2 m de sediment), un valor que quasi triplica el carboni del sòl dels prats i les pastures. Les aigües continentals mantenen 47,9 Mg C ha⁻¹, però una part molt elevada és carboni inorgànic dissolt del sistema carbònic-carbonats, que es calcula que pot ser trenta vegades superior al carboni orgànic. Fent un càlcul senzill, el carboni orgànic que es manté emmagatzemat a l'aigua seria, de mitjana, 1,6 Mg C ha⁻¹, proper al dels conreus herbacis.

Quan s'expressa en termes absoluts, és a dir, tenint en compte la superfície que ocupa cada sistema, el que més estoc de carboni manté emmagatzemat és el bosc, amb 172,7 Tg, seguit a força distància pels conreus de llenyoses i d'herbàcies, amb 98,3 Tg, i per la mar catalana, amb 92,3 Tg. En les darreres posicions hi ha els matollars, amb 59,9 Tg, i, finalment, els prats i les pastures, amb 21 Tg. En el cas dels conreus i dels prats i les pastures, el principal contribuent a l'estoc de carboni és el sòl, perquè la part corresponent a la vegetació és proporcionalment molt baixa en ambdós casos.

TAULA 3.5. Valors d'estoc i segrest de carboni mitjà i absolut a Catalunya per a cadascun dels sistemes analitzats

Sistemes terrestres		Estoc mitjà Mg C ha ⁻¹		Estoc absolut Tg C		Segrest mitjà Mg C ha ⁻¹ any ⁻¹		Segrest absolut Tg C any ⁻¹	
		Vegetació	Sòl	Vegetació	Sòl	Vegetació	Sòl	Vegetació	Sòl
Bosc		56,0 ¹	93,4 ²	63,5 ¹	109,2 ²	1,04	—	1,27	—
Matollars		13,6	90,4	5,2	54,7	~0	—	~0	—
Prats i pastures		13,3	121,4	2,1	18,9	~0	—	~0	—
Agricultura	Conreus llenyosos	12,1	100,0	4,0	93,9	0,42	—	0,14	—
	Conreus herbacis	0,8		0,42		0	—	0	—
		Aigua	Sedi- ment	Aigua	Sedi- ment	Aigua	Sedi- ment	Aigua	Sedi- ment
Sistemes marins		12,0 ³	330,0 ⁴	89 ³	3,3 ⁴	—	—	—	—
Aigües continentals		47,9 ⁵	—	0,33 ⁵	—	~0	7	~0	0,12

- Inclou arbres i sotabosc.
- Inclou el carboni del sòl, de la virosta i de la fusta morta en peu.
- Quantitat de carboni que s'ha absorbit de l'atmosfera entre el 1750 i el 2001.
- Praderies de *Posidonia oceanica* i *Cymodocea nodosa* (incloent-hi la planta i 2 m de sediment).
- Inclou el carboni inorgànic dissolt que pot ser trenta vegades superior al carboni orgànic dissolt.

El color associat a cada valor fa referència al grau de certesa: el verd, a un grau de certesa elevat; el taronja, a un grau de certesa mitjà, i el vermell, a un grau de certesa baix.

A la mar catalana, en canvi, el carboni és sobretot a l'aigua, en bona part per la gran superfície que ocupa (per al càlcul s'ha assumit una superfície de 74.000 km², més del doble de la superfície de Catalunya, 32.000 km²).

Pel que fa al segrest mitjà de carboni, els sediments de les aigües continentals són, clarament, els que més quantitat de carboni segresten per unitat de superfície, amb 7 Mg C ha⁻¹ any⁻¹, un valor set vegades superior a la capacitat d'embornal dels boscos, d'1,04 Mg C ha⁻¹ any⁻¹, que, al seu torn, duplica àmpliament la no gens negligible capacitat dels conreus llenyosos, amb 0,42 Mg C ha⁻¹ any⁻¹. Quan s'expressa en valor absolut, el bosc és, amb diferència, l'embornal de carboni principal, amb 1,27 Tg any⁻¹. Els sediments de les aigües continentals, amb 0,12 Tg any⁻¹, passen a darrer terme perquè ocupen una superfície molt petita, seguits de molt a prop pels conreus de llenyoses, amb 0,14 Tg any⁻¹. Pel que fa a la resta, s'assumeix que o bé la capacitat d'embornal és lleugerament positiva però propera a zero, com en el cas dels mato-

llars i dels prats, o bé és totalment neutra, com en el cas dels conreus d'herbàcies. Malauradament, per als sòls i als sistemes marins encara no hi ha prou estudis locals que permetin estimar d'una manera raonable la capacitat d'embornal.

3.6. Recomanacions

3.6.1. Boscos i matollars

Atès que la major part dels boscos ja pateixen l'efecte del canvi climàtic, és imprescindible realitzar una gestió forestal flexible i adaptada a cada espècie i zona geogràfica. En alguns casos caldrà augmentar la freqüència de les intervencions i en d'altres, la intensitat de les aclarides, per a evitar el declivi dels boscos, reduir el risc d'incendi i mantenir-ne, i si és possible millorar-ne, l'estat de salut.

Als boscos on es pugui maximitzar l'estoc de carboni, perquè hi ha un risc baix d'impacte de perturbacions, es recomana una gestió forestal més conservadora que mantingui períodes de rotació més llargs per a aconseguir un temps de residèn-

cia més gran de l'estoc de carboni en peu. Aquesta gestió hauria de permetre augmentar el nombre de classes diamètriques (diversitat estructural alta) i mantenir els arbres de més grandària. A les zones on fos possible, s'haurien d'afavorir les masses mixtes de coníferes i planifolis. També caldria evitar les rompudes, que, tot i ser necessàries per qüestions econòmiques o de planificació territorial per a evitar grans incendis forestals, comporten una pèrdua molt elevada del carboni emmagatzemat al sòl.

3.6.2. Prats i pastures

Les recomanacions per a mantenir els embornals de carboni als prats i les pastures catalans en condicions de canvi climàtic inclouen:

- El manteniment d'un ús sostenible d'aquests ecosistemes, amenaçats igualment per la intensificació i per l'abandonament.
- La introducció de diversitat als prats sembrats permanents i la protecció de la biodiversitat dels ecosistemes pràcticoles i les pastures.

3.6.3. Agricultura

En general, cal reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per a fer un balanç més positiu. En aquest sentit, l'agricultura de conservació, la incorporació de carboni al sòl (biocarbó o *biochar*, components orgànics, etc.) i l'agricultura de precisió, juntament amb les pràctiques agronòmiques que optimitzin la producció amb una reducció més petita de la biomassa, poden contribuir a les polítiques de mitigació, les quals, tanmateix, es poden englobar en un sol concepte: aplicar el sentit comú per a objectius clars, com ara l'increment de la productivitat específica, incloent-hi la fixació de carboni amb aportacions energètiques baixes.

3.6.4. Aigües continentals

El segrest de carboni als sediments pràcticament resulta permanent a les escales de temps d'interès per al canvi climàtic. Variacions importants del nivell de l'aigua als embassaments, o rentats de fons, podrien alliberar part de la retenció per l'erosió del sediment acumulat. És un factor més que cal considerar en la gestió d'aquests sistemes, tot i que no ha de ser prioritari.

L'estoc de carboni a l'aigua dels rius és probable que sigui molt fluctuant en el futur, en la mesu-

ra que ho siguin les precipitacions i els usos del sòl. Per unitat de volum, el carboni probablement augmentarà, atès que cal esperar una meteorització més elevada de les roques, més producció primària pròpia de les aigües i, possiblement, més exportació de carboni des dels sòls de la conca, en el cas de sequeres que malmetin la vegetació actual. Tot plegat pot tenir repercussions en el balanç de carboni a la zona costanera. S'hauria d'establir un seguiment més bo d'aquest procés.

3.6.5. Sistemes marins

Per a revertir la tendència actual de disminució de les praderies marines calen accions que minimitzin el deteriorament de la costa, però també calen polítiques i mesures a escala global per a limitar l'augment de les temperatures i l'impacte sobre la *P. oceanica*.

Referències bibliogràfiques

- ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; CHENCHOUNI, H. [et al.] (2010). «A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests». *Forest Ecology and Management*, 259, p. 660-684.
- ÁLVARO-FUENTES, J.; EASTER, M.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. [et al.] (2011). «Modelling soil organic carbon stocks and their changes in the northeast of Spain». *European Journal of Soil Science*, 62, p. 685-695.
- ANDREU, L.; GUTIÉRREZ, E.; MACIAS, M. [et al.] (2007). «Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests». *Global Change Biology*, 13, p. 804-815.
- BANQUÉ, M.; GARCIA CALLEJAS, D.; MARTÍNEZ-VILALTA, J. [et al.] (2014). *C-Bosc: Projeccions dels estocs i de la capacitat d'embornal de carboni a Catalunya fins al 2050* [en línia]. <http://canviclimatic.gencat.cat/es/campanyes_i_comunicacio/publicacions-de-canvi-climatic> [Consulta: 15 setembre 2015].
- BELLO, F. DE; LEPŠ, J.; SEBASTIÀ, M. T. (2005). «Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean». *Journal of Applied Ecology*, 42, p. 824-833.
- BOLINDER, M. A.; JANZEN, H. H.; GREGORICH, E. G. [et al.] (2007). «An approach for estimating net pri-

- mary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada». *Agriculture Ecosystems Environmental*, 118, p. 29-42.
- CATALAN, J.; PLA, S.; RIERADEVALL, M. [et al.] (2002). «Lake Redo ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century». *Journal of Paleolimnology*, 28, p. 129-145.
- CATALAN, J.; PLA, S.; GARCÍA, J. [et al.] (2014a) «Air temperature-driven CO₂ consumption by rock weathering at short timescales: Evidence from a Holocene lake sediment record». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 136, p. 67-79.
- CATALAN, J.; SCHILLER, N. VON; MARCÉ, R. [et al.] (2014b). «Carbon dioxide efflux during the flooding phase of temporary ponds». *Limnetica*, 33, p. 349-359.
- COSTA, J. (2004). *Els sòls com a reservori de carboni. Aplicació en una franja occidental de Catalunya: Estat actual i potencial*. Projecte de final de carrera. Lleida: Universitat de Lleida.
- CREAF = CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I D'APLICACIONS FORESTALS. *Mapes de cobertes del sòl de Catalunya* [en línia]. <<http://www.creaf.uab.es/mcsc>> [Consulta: 15 setembre 2015].
- DOBLAS-MIRANDA, E.; ROVIRA, P.; BROTONS, L. [et al.] (2013). «Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain». *Biogeosciences*, 10, p. 8353-8361.
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2008). EEA Report núm. 4/2008, *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment* [en línia]. <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4> [Consulta: 15 setembre 2015].
- FORMAN, R. T. T. (2004). *Mosaico territorial para la región metropolitana de Barcelona*. Barcelona: Gustavo Gili.
- FOURQUIREAN, J. W.; DUARTE, C. M.; KENNEDY, H. [et al.] (2012). «Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock». *Nature Geoscience*, 5, p. 1-5.
- FUNES, I.; SAVÉ, R.; ARANDA, X. [et al.] (2013). «Almacenamiento de carbono en la zona de transición agroforestal mediterránea». II Workshop Remedia sobre Mitigación de Emisión de Gases de Efecto Invernadero Provenientes del Sector Agroforestal. Campus d'Aula Dei, Saragossa.
- FUNES, I.; SAVÉ, R.; VAYREDA, J. [et al.] (2015). «Evaluación de la biomasa de cultivos leñosos como estoc de carbono en la cuenca mediterránea». IV Workshop Remedia sobre Mitigación de Emisión de Gases de Efecto Invernadero Provenientes del Sector Agroforestal. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms de la Universitat Complutense de Madrid.
- GALLART, F.; DELGADO, J.; BEATSON, S. J. V. [et al.] (2011). «Analysing the effect of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain)». *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, p. 655-661.
- GARCIA-PAUSAS, J.; CASALS, P.; CAMARERO, L. [et al.] (2007). «Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: Effects of climate and topography». *Biogeochemistry*, 82, p. 279-289.
- GRACIA, C.; BURRIEL, J. A.; IBÁÑEZ, J. J. [et al.] (2004). *Inventari ecològic i forestal de Catalunya: Mètodes*. Vol. 9. Bellaterra: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals.
- GRAÑANA, I.; FONOLLOSA, S. (2009). *Avaluació d'indicadors de qualitat del sòl: Carboni orgànic, salinitat i sodicitat a les Terres de l'Ebre*. Projecte de final de carrera. Lleida: Universitat de Lleida.
- GREER, D. H.; SICARD, S. M. (2009). «The net carbon balance in relation to growth and biomass accumulation of grapevines (*Vitis vinifera* cv. Semillon) grown in a controlled environment». *Functional Plant Biology*, 36, p. 645-653.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de S. Solomon, D. Qin, M. Manning [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html> [Consulta: 15 setembre 2015].
- (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel*

- on *Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>> [Consulta: 15 setembre 2015].
- KEY, R. M.; KOZYR, A.; SABINE, C. L. [et al.] (2004). «A global ocean carbon climatology: Results from Global Data Analysis Project (GLODAP)». *Global Biogeochemical Cycles*, 18. DOI: 10.1029/2004GB002247.
- KHATIWALA, S.; TANHUA, T.; MIKALOFF FLETCHER, S. [et al.] (2013). «Global ocean storage of anthropogenic carbon». *Biogeosciences*, 10, p. 2169-2191, DOI: 10.5194/bg-10-2169-2013.
- LEE, K.; SABINE, C. L.; TANHUA, T. [et al.] (2011). «Roles of marginal seas in absorbing and storing fossil fuel CO₂». *Energy & Environmental Science*, 4, p. 1133.
- LINARES, J. C.; CAMARERO, J. J.; CARREIRA, J. A. (2009) «Interacting effects of changes in climate and forest cover on mortality and growth of the southernmost European fir forests». *Global Ecology and Biogeography*, 18, p. 485-497
- LO IACONO, C., MATEO, M. A.; GRÀCIA, E. [et al.] (2008) «Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates». *Geophysical Research Letters*, 35, p. L18601.
- LÓPEZ, P.; MARCÉ, R.; ARMENGOL, J. (2011). «Net heterotrophy and CO₂ evasion from a productive calcareous reservoir: Adding complexity to the metabolism-CO₂ evasion issue». *Journal of Geophysical Research - Biogeosciences*, 116, p. G02021.
- LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J. F. [et al.] (2014). «Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: A review». *Grass and Forage Science*, 69(2), p. 206-228.
- MACIAS, M.; ANDREU, L.; BOSCH, O. [et al.] (2006). «Increasing aridity is enhancing silver fir *Abies alba* mill.) water stress in its south-western distribution limit». *Climatic Change*, 79, p. 289-313.
- MARBÀ, N.; DÍAZ-ALMELA, E.; DUARTE, C. M. (2014). «Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009». *Biological Conservation*, 176, p. 183-190.
- MARCÉ, R.; OBRADOR, B.; MORGUI, J. A. [et al.] (2015). «Carbonate weathering as a driver of CO₂ supersaturation in lakes». *Nature Geoscience* 8, p. 107-111.
- MARTÍNEZ-VILALTA, J.; LLORET, F.; BRESHEARS, D. D. (2012). «Drought-induced forest decline: causes, scope and implications». *Biology Letters*, 8(5), p. 689-691.
- Martínez-Vilalta, J.; López, B. C.; Adell, N. [et al.] (2008). «Twentieth century increase of Scots pine radial growth in NE Spain shows strong climate interactions». *Global Change Biology*, 14, p. 2868-2881.
- MATEO, M. A.; ROMERO, J.; PÉREZ, M. [et al.] (1997). «Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, p. 103-111.
- MATTOS, D.; GRAETZ, D. A.; ALVA, A. K. (2003). «Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol». *Soil Science Society of America Journal*, 67, p. 555-563.
- MOKANY, K.; RAISON, R.; PROKUSHKIN, A. S. (2006). «Critical analysis of root: Shoot ratios in terrestrial biomes». *Global Change Biology*, 12, p. 84-96.
- MOLOWNY, R. (2012). *Modelos de proyección integral en bosques españoles*. Conferència convidada. Solsona: Centre Tecnològic i Forestal de Catalunya.
- MONTAGHI, A.; CORONA, P.; DALPONTE, M. [et al.] (2013). «Airborne laser scanning of forest resources: An overview of research in Italy as a commentary case study». *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, p. 288-300.
- MONTANÉ, F.; ROVIRA, P.; CASALS, P. (2007). «Shrub encroachment into mesic mountain grasslands in the Iberian peninsula: Effects of plant quality and temperature on soil C and N stocks». *Global Biogeochemical Cycles*, 21, p. GB4016. DOI: 10.1029/2006GB002853.
- MONTERO, G.; PASALODOS-TATO, M.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E. [et al.] (2013). «Ecuaciones para la estimación de la biomasa en matorrales y arbustados

- mediterràneos». VI Congreso Forestal Español, Vitòria.
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, INIA.
- NABUURS, G.-J.; LINDER, M.; VERKERK, P. J. [et al.] (2013) «First signs of carbon sink saturation in European forest biomass» *Nature Climate Change*, 3, p. 792-796.
- NARDINO, M.; PERNICE, F.; ROSSI, F. [et al.] (2013). «Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard». *Photosynthetica*, 51, p. 63-74.
- PALAU, A.; ALONSO, M.; CORREGIDOR, D. (2010). «Análisis del ciclo de carbono en embalses y su posible efecto en el cambio climático: Aplicación al embalse de Susqueda (Río Ter, NE España)». *Ingeniería del Agua*, 17, p. 247-255.
- PALESE, A. M.; PERGOLA, M.; FAVIA, M. [et al.] (2013). «A sustainable model for the management of olive orchards located in semi-arid marginal areas: Some remarks and indications for policy makers». *Environmental Science & Policy*, 27, p. 81-90.
- PANZACCHI, P.; TONON, G.; CECCON, C. [et al.] (2012). «Belowground carbon allocation and net primary and ecosystem productivities in apple trees (*Malus domestica*) as affected by soil water availability». *Plant and Soil*, 360, p. 229-241.
- PERGENT, G.; BAZAIRI, H.; BIANCHI, C. N. [et al.] (2012). *Mediterranean seagrass meadows?: Resilience and contribution to climate change mitigation*. Gland, etc.: IUCN.
- PERGENT, G.; ROMERO, J.; PERGENT-MARTINI, C. [et al.] (1994). «Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*». *Marine Ecology Progress Series*, 106, p. 139-146.
- QUINONES, A.; MARTÍNEZ-ALCANTARA, B.; FONT, A. [et al.] (2013). «Allometric models for estimating carbon fixation in citrus trees». *Agronomy Journal*, 105, p. 1355-1366.
- RIBAS, A.; LLURBA, R.; GOURIVEAU, F. [et al.] (2015). «Plant identity and evenness affect yield and trace gas exchanges in forage mixtures». *Plant and Soil*, 391, p. 93-108.
- RODRÍGUEZ-MURILLO, J. C. (2001). «Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain». *Biology and Fertility of Soils*, 33, p. 53-61.
- ROMERO, J.; PÉREZ, M.; ALCOVERRO, T. [et al.] (2015). «Praderas de angiospermas marinas de Cataluña». A: RUIZ, J. M.; GUILLÉN, J.; OTERO, M. M. [et al.] (ed.). *Atlas de las praderas de angiospermas marinas de España*. Murcia, etc.: IEO, IEL, UICN, p. 121-177.
- SABINE, C. L.; FEELY, R. A.; GRUBER, N. [et al.] (2004). «The oceanic sink for anthropogenic CO₂». *Science*, 305, p. 367-371.
- SCHILLER, D. VON; MARCÉ, R.; OBRADOR, B. [et al.] (2014). «Carbon dioxide emissions from dry watercourses». *Inland Waters*, 4, p. 377-382.
- SCHNEIDER, A.; TANHUA, T.; KÖRTZINGER, A. [et al.] (2010) «High anthropogenic carbon content in the eastern Mediterranean». *Journal of Geophysical Research*, 115. DOI: 10.1029/2010JC006171.
- SERRANO, O.; LAVERY, P. S.; ROZAIMI, M. [et al.] (2014). «Influence of water depth on the carbon sequestration capacity of seagrasses». *Global Biogeochemical Cycles*, 28(9), p. 950-961.
- SERRANO, O.; MATEO, M. A.; RENOM, P. [et al.] (2012). «Characterization of soils beneath a *Posidonia oceanica* meadow». *Geoderma*, 185-186, p. 26-36.
- SJÖGERSTEN, S.; LLURBA, R.; RIBAS, À. [et al.] (2012). «Temperature and Moisture Controls of C Fluxes in Grazed Subalpine Grasslands». *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44, p. 239-246.
- SMITH, P. (2014). «Do grasslands act as a perpetual sink for carbon?». *Global Change Biology*, 20, p. 2708-2711.
- SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H. [et al.] (2014). «Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició d'O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press, p. 1-179. També disponible a: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf> [Consulta: 15 setembre 2015].

- SOUSSANA, J.-F.; FUHRER, J.; JONES, M. [et al.] (2007). «The greenhouse gas balance of grasslands in Europe». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121, p. 1-4.
- TAKAHASHI, T.; SUTHERLAND, S. C.; WANNINKHOF, R. [et al.] (2009). «Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans». *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(8-10), p. 554-577.
- VAYREDA, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; GRACIA, M. [et al.] (2012). «Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests». *Global Change Biology*, 18, p. 1028-1041.
- VILLAESCUSA, R.; DÍAZ, R. (ed.) (1998). *Segundo Inventario Forestal Nacional (1986-1996)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, ICONA.
- VILLALOBOS, F. J.; TESTI, L.; HIDALGO, J. [et al.] (2006). «Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies». *European Journal of Agronomy*, 24, p. 296-303.
- VILLANUEVA, J. A. (ed.) (2005). *Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- WAYCOTT, M.; DUARTE, C. M.; CARRUTHERS, T. J. B. [et al.] (2009). «Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, p. 12377-12381.
- WILLIAMS, J. N.; HOLLANDER, A. D.; O'GEEN, A. T. [et al.] (2011). «Assessment of carbon in woody plants and soil across a vineyard-woodland landscape». *Carbon Balance and Management*, 6, p. 11.
- XILOYANNIS, C.; SOFO, A.; CELANO, G. [et al.] (2007). «Absorption of atmospheric CO₂ in peach trees and partitioning in the different plant organs». A: HROTKO, K. (ed.). *Proceedings of the Eighth International Symposium on Canopy, Rootstocks and Environmental Physiology in Orchard Systems*. Leuven: International Society Horticultural Science.
- YOUNG, T. P. (2006). «Declining rural economies and the future of biodiversity: Missing the forest for the trees?». *Journal of International Wildlife Law and Policy*, 9, p. 319-138.
- ZHAO, M. S.; RUNNING, S. W. (2010). «Drought-Induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009». *Science*, 329, p. 940-943.

4 Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya

Autors

Javier Martín-Vide

Marc Prohom Duran

Montserrat Busto

Col·laboradors

Josep Pascual Massaguer

Jordi Camins

Javier Martín-Vide és llicenciat en ciències matemàtiques i doctor en geografia i història per la Universitat de Barcelona (UB). És catedràtic de geografia física a la mateixa universitat, acadèmic de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i acadèmic corresponent de la Reial Acadèmia de Ciències d'Ultramar de Bèlgica. Va ser el primer president de l'Associació Espanyola de Climatologia (1998-2004), president de l'Associació de Geògrafs Espanyols (2009-2013) i president del Consell Assessor del Servei Meteorològic de Catalunya (2002-2011). Actualment és coordinador del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i de l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic (METROBS), director de l'Institut de Recerca de l'Aigua i del Grup de Climatologia de la UB, i codirector del màster de climatologia aplicada i mitjans de comunicació. És autor de vint-i-cinc llibres i uns tres-cents articles i capítols de llibre, i ha estat revisor del tercer, el quart i el cinquè *Informe d'avaluació* del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC).

Marc Prohom Duran és llicenciat i doctor en geografia per la Universitat de Barcelona (UB), i des del 2013 és cap de l'Àrea de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya. Les seves línies principals d'investigació se centren en el monitoratge de la variabilitat i el canvi climàtic a Catalunya, i en la creació de productes i serveis climàtics per a em-

preses i particulars. Coordina i participa en projectes i iniciatives internes i internacionals centrades en el rescat de sèries climàtiques, i en l'anàlisi de la qualitat i l'homogeneïtat. També és membre del Grup de Climatologia de la UB i col·laborador de la secció de meteorologia de l'Observatori Fabra de Barcelona.

Montserrat Busto és llicenciada en física per la Universitat de Barcelona, màster en climatologia aplicada i tècnica en medi ambient. Ha treballat a diferents empreses relacionades amb el medi ambient i com a consultora ambiental *freelance*. Des del 1999 treballa al Servei Meteorològic de Catalunya, en el qual forma part de l'Equip de Canvi Climàtic. La seva tasca se centra en l'estudi de l'evolució dels indicadors climàtics i en el desenvolupament de nous projectes. Des del 2002 col·labora amb la revista *La Terra*, en la secció «Apunts de meteorologia».

Josep Pascual Massaguer va estudiar enginyeria tècnica agrícola a l'Escola d'Agricultura de Barcelona. A final del 1968 va començar a fer observacions meteorològiques a l'Estartit, primer pluviomètriques, després també termomètriques i, amb el temps, de tota mena de variables, per a l'Institut Nacional de Meteorologia (INM), avui Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). A començament dels anys setanta, l'Institut d'Investigacions Pesqueres (IIP), avui Institut de Ciències del Mar (ICM), li va proporcionar termò-

metres de gran resolució per a l'observació de la temperatura del mar. A mitjan anys noranta, gràcies a una subvenció de la Generalitat de Catalunya, va adquirir una sonda electrònica CTD. Actualment, fa observacions, entre un i dos cops per setmana, de la temperatura del mar entre la superfície i els 80 metres de fondària, a una milla a llevant de les illes Medes, amb el suport del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter.

Jordi Camins Just és observador glaciòleg, dedicat des del 1982 al seguiment de les glaceres,

especialment del Pirineu. Col·labora amb la Universitat de Saragossa, amb altres universitats europees i amb el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS). És membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i va ser guardonat amb el Premi Medi Ambient 2012 de la Generalitat de Catalunya. És autor de publicacions de divulgació científica amb utilització de la fotografia comparativa, com ara *El canvi climàtic a les glaceres dels Pirineus*, *La glacera d'Aneto*, *efectes del canvi climàtic en imatges* i *Los cien últimos glaciares del sur de Europa*.

Sumari

Síntesi	96
4.1. Introducció	97
4.2. El context climàtic de Catalunya: la complexitat geogràfica i la varietat climàtica del país	97
4.3. Canvis en la temperatura.....	98
4.3.1. Evolució recent (des de mitjan segle XIX fins al present)	98
4.3.2. Evolució secular	100
4.4. Canvis en la precipitació.....	101
4.4.1. Evolució recent (des de mitjan segle XX fins al present).....	102
4.4.2. Evolució secular	103
4.5. Canvis en altres variables atmosfèriques	104
4.6. Canvis en els extrems climàtics	104
4.6.1. Els extrems de la temperatura i la precipitació.....	105
4.7. Canvis en la temperatura i el nivell de les aigües costaneres.....	105
4.8. Les glaceres i la neu al Pirineu.....	107
4.9. Conclusions	109
4.10. Recomanacions	110
Referències bibliogràfiques	110

Síntesi

En aquest capítol s'analitza l'evolució de la temperatura mitjana, de les temperatures mitjanes de les màximes i de les mínimes, i de la precipitació, a partir de sèries tèrmiques, prèviament homogeneïtzades, de vint-i-quatre punts d'observació, i pluviomètriques, també homogeneïtzades, de seixanta-vuit observatoris, del període 1950-2014 i a escala anual i estacional. S'hi ha afegit la informació i l'anàlisi d'altres variables climàtiques afins (com ara l'evaporació, la insolació, el nombre de dies de neu i de tempesta, els extrems climàtics, la temperatura de les aigües marines, l'estat de les masses de gel, etc.). A més, els observatoris de l'Ebre i Fabra i la sèrie plurisecular de Barcelona hi han aportat més cobertura temporal, cosa que permet una anàlisi amb perspectiva secular. El resultat més clar és l'increment de la temperatura mitjana anual de l'aire de $+0,23$ °C/decenni, per al conjunt de Catalunya i per al període 1950-2014, amb un ritme d'augment de la mitjana de la temperatura màxima anual de $+0,28$ °C/decenni, superior al corresponent a la mínima, de $+0,17$ °C/decenni.

Estacionalment, l'increment de la temperatura mitjana té una tendència més marcada, de $+0,33$ °C/decenni, a l'estiu. En contrast, la precipitació mitjana anual no mostra cap variació estadísticament significativa al conjunt del país. D'altra banda, en coherència amb l'augment de la temperatura, s'ha produït un increment estadísticament significatiu dels dies que tèrmicament es poden considerar d'estiu, les nits i els dies càlids, així com de la temperatura de l'aigua del mar a la Costa Brava, mentre que disminueixen amb significació estadística els dies i nits freds, i els dies de neu. Les recomanacions més importants són el manteniment d'una xarxa d'observació meteorològica amb una densitat espacial adequada, per tal de disposar de sèries climàtiques homogènies i de qualitat, i la millora en la difusió i la comunicació de la informació sobre l'evolució del clima a la població en general i als sectors econòmics més sensibles.

Paraules clau

extrem climàtic, glaceres, precipitació, temperatura de l'aire, temperatura i nivell del mar, tendència

4.1. Introducció

Les variacions recents i històriques de les variables climàtiques, sobretot de la temperatura i la precipitació, detectades a partir de l'anàlisi de les sèries climàtiques homogènies corresponents, permeten avaluar de manera objectiva l'evolució del clima a Catalunya en els darrers decennis i, fins i tot, per al cas de Barcelona i alguna altra sèrie, en períodes seculars. En aquest capítol s'actualitza l'increment de temperatura observat respecte als valors apareguts al SICCC (2010), així com el comportament de la precipitació. D'altra banda, s'amplia la informació i l'anàlisi a altres variables climàtiques afins, com ara l'evaporació, la humitat relativa de l'aire, la nuvolositat, la insolació, el nombre de dies de neu, el nombre de dies de tempesta, els extrems climàtics (dies i nits càlids i freds, intensitat de la pluja i durada dels períodes secs), la temperatura de les aigües marines i l'estat de les masses de gel. D'aquesta manera, s'obté una imatge actualitzada i més completa de l'evolució recent del clima a casa nostra, que, d'altra banda, és semblant en molts aspectes a la del conjunt de la península Ibèrica i la conca de la Mediterrània occidental.

El capítol es fonamenta en un compendi d'estudis recents i anàlisis pròpies, que han estat possibles a partir de les sèries tèrmiques, prèviament homogeneïtzades, de vint-i-quatre punts d'observació, i de les pluviomètriques, també homogeneïtzades, de seixanta-vuit observatoris, del període 1950-2014. A més, els observatoris de l'Ebre i Fabra i la sèrie plurisecular de Barcelona han aportat altres variables i una cobertura temporal més gran, que permet una anàlisi secular.

4.2. El context climàtic de Catalunya: la complexitat geogràfica i la varietat climàtica del país

Els costats del triangle, de 32.000 km² aproximadament, que, de manera esquemàtica, dibuixen els límits de Catalunya marquen alguns dels trets geogràfics, i específicament climàtics, del país. D'una banda, la hipotenusa marítima el vincula a la gran conca de la Mediterrània, font d'humitat i de calor latent, atesa la condició de mar quasi tancada, càlida en la segona meitat de l'any. D'altra banda, el límit administratiu del costat de ponent, el més mal definit, integra perfectament

el triangle esmentat en el conjunt ampli i elevat de les terres de la península Ibèrica, però a sotavent de les influències atlàntiques. Finalment, el costat septentrional, amb els Pirineus, a més d'introduir el factor de l'altitud, construeix una mena de frontera climàtica entre dos grans conjunts climàtics, el clima mediterrani, al sud, i el temperat oceànic de latituds mitjanes, al nord. Si s'amplia l'enfocament de l'escala d'anàlisi, Catalunya és un territori amb una posició occidental en el marc euroasiàtic i una situació latitudinal mitjana (entre 40° 31' i 42° 51' N), a cavall entre dues influències atmosfèriques generals, la dels anticiclons subtropicals, al sud, i la dels vents dominants del sud-oest i l'oest, al nord. Per això, per la posició occidental i la latitud mitjana-subtropical, Catalunya és predominantment mediterrània, tret de l'extrem nord-occidental, la Vall d'Aran, l'única comarca sense filiació mediterrània. Aquest caràcter gairebé comú, mediterrani, amaga, no obstant això, una gran varietat climàtica i alguna singularitat notable. D'una banda, els més de 3.000 metres de rang altitudinal de Catalunya donen lloc a un ampli ventall tèrmic, des de 17 °C al delta de l'Ebre fins a valors un xic negatius als cims pirinencs, com a mitjana anual, i a illots plujosos i ombres pluviomètriques, a banda dels contrastos entre solells i obagues, i entre sobrevents i sotavents. D'altra banda, el relleu d'una certa complexitat que conformen les unitats del sistema Litoral, amb l'àmbit costaner, la serralada Litoral, la depressió Prelitoral i la serralada Prelitoral; la depressió Central, i el Prepirineu i el Pirineu afegeix una varietat climàtica notable, i sovint meteorològica, en distàncies curtes. Però, a més a més, cal tenir en compte que a Catalunya, igual que a la resta de la península Ibèrica, cal distingir entre l'element de la mediterraneïtat climàtica, més clara com més cap al sud, i l'element de la mediterraneïtat geogràfica, visible en apropar-se al litoral del Mare Nostrum. Pluviomètricament, la primera augmenta la variabilitat interanual, és a dir, el contrast entre els anys secs i els anys moderadament plujosos, i allarga els períodes sense pluja; la segona és palesa en l'alta concentració percentual de la pluja en pocs dies molt plujosos (Martín-Vide, 2011a). De fet, el litoral català, juntament amb el valencià i la costa mediterrània francesa, és l'àmbit europeu amb un índex de concentració diària de la precipitació més elevat (Cortesi *et al.*, 2012). És precisament el

factor de la Mediterrània —el fet de tenir aquesta mar a llevant més propera que l'oceà a ponent— el que fa que la tardor sigui l'estació més plujosa a la franja litoral i prelitoral catalana, mentre que el règim pluviomètric estacional típic dels climes mediterranis té l'hivern com l'estació més plujosa i l'estiu com la més seca. De fet, a Catalunya hi ha representats ni més ni menys que vuit règims pluviomètrics estacionals dels vint-i-quatre possibles, fet realment singular en un espai d'aquesta extensió. Fins i tot a la Vall d'Aran el règim es pot qualificar d'equilibrat, atès que la precipitació es distribueix equilibradament entre les quatre estacions.

A conseqüència de tot això, Catalunya té un gran ventall de tipus i varietats de climes mediterranis, a part del clima oceànic de la comarca pirinenca esmentada. Així, utilitzant una classificació geogràfica dels climes, es pot parlar de climes mediterranis de litoral i prelitoral (al sistema Litoral), amb matisos de continentalitat (a la depressió Central) i de muntanya (al Pirineu i Prepirineu) (PICCC, 2005; SICCC, 2010; Martín-Vide, 2011b). Aquesta riquesa i complexitat climàtica actual comporta una dificultat afegida a l'hora d'establir tendències i projeccions climàtiques detallades espacialment per a Catalunya.

4.3. Canvis en la temperatura

A escala global i europea, les evidències d'un increment marcat de la temperatura mitjana de l'aire des de mitjan segle XIX són del tot incontestables. L'àmbit mediterrani, i en aquest context Catalunya, no queda exclòs d'aquesta tendència, i les observacions procedents d'observatoris meteorològics així ho testimonien.

Seguidament, es mostren els principals trets d'aquest escalfament a partir d'una doble aproximació: l'evolució recent (des de 1950) i per al conjunt del país, i l'evolució secular (des de 1780) per a la sèrie de temperatura de Barcelona i dels observatoris de l'Ebre (des de 1905) i Fabra (des de 1914).

4.3.1. Evolució recent (des de mitjan segle XIX fins al present)

Des de mitjan segle XIX, el nombre i la cobertura espacial i temporal de les sèries climàtiques cata-

lanes es poden considerar òptimes per a copsar de manera adequada la tendència de la temperatura de l'aire. El *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC), que publica el Servei Meteorològic de Catalunya, és una bona radiografia d'aquesta evolució, ja que incorpora els criteris més recents d'anàlisi de qualitat i d'homogeneïtat.

Segons el BAIC corresponent a l'any 2014 (BAIC 2014), la variació de la temperatura mitjana de l'aire a Catalunya per al període 1950-2014 mostra un ritme d'increment de $+0,23$ [$+0,16/+0,30$] °C/decenni, un valor estadísticament significatiu¹ (figura 4.1). Aquesta xifra és lleugerament superior a la que es mostrava en el SICCC (2010), que analitzava el període 1950-2008 i que fixava l'increment dins un interval que variava entre $+0,18$ i $+0,23$ °C/decenni. Pel que fa a la comparativa amb el que succeeix a escala global, diverses fonts fixen l'increment entre $+0,18$ i $+0,20$ °C/decenni, per al període 1951-2012 (IPCC, 2013, p. 187).

Tot i aquest increment multidecennal, es detecta una gran variabilitat interanual i interdecennal en el ritme d'escalfament, amb diversos períodes que mostren un debilitament o, fins i tot, una tendència oposada. El període 1950-1970 presenta una tendència negativa de $-0,15$ [$-0,52/+0,22$] °C/decenni —sense significació estadística—, mentre que els períodes 1971-1990 i 1991-2014 ofereixen una resposta respecte a un escalfament, més marcat en el primer cas: $+0,78$ [$+0,51/+1,06$] °C/decenni i $+0,34$ [$+0,04/+0,64$] °C/decenni, respectivament, ambdues amb significació estadística. Quatre dels cinc anys més càlids des del 1950 a Catalunya s'han concentrat dins el període 2000-2014, i l'any 2006 va ser el més càlid, amb una anomalia respecte a la mitjana climàtica del període 1961-1990 de $+1,67$ °C (taula 4.1).

Estacionalment, l'estiu és l'època de l'any que registra un increment més marcat de la temperatura mitjana per al període 1950-2014, amb

1. En aquest capítol la incertesa es quantifica utilitzant intervals d'incertesa del 90 %. L'interval d'incertesa aportat entre claudàtors indica que aquell marge té una probabilitat del 90 % de cobrir el valor que es mostra. Al mateix temps, quan s'indica que una tendència és estadísticament significativa, ho és segons el test de Mann-Kendall i per a un nivell de confiança del 95 %.

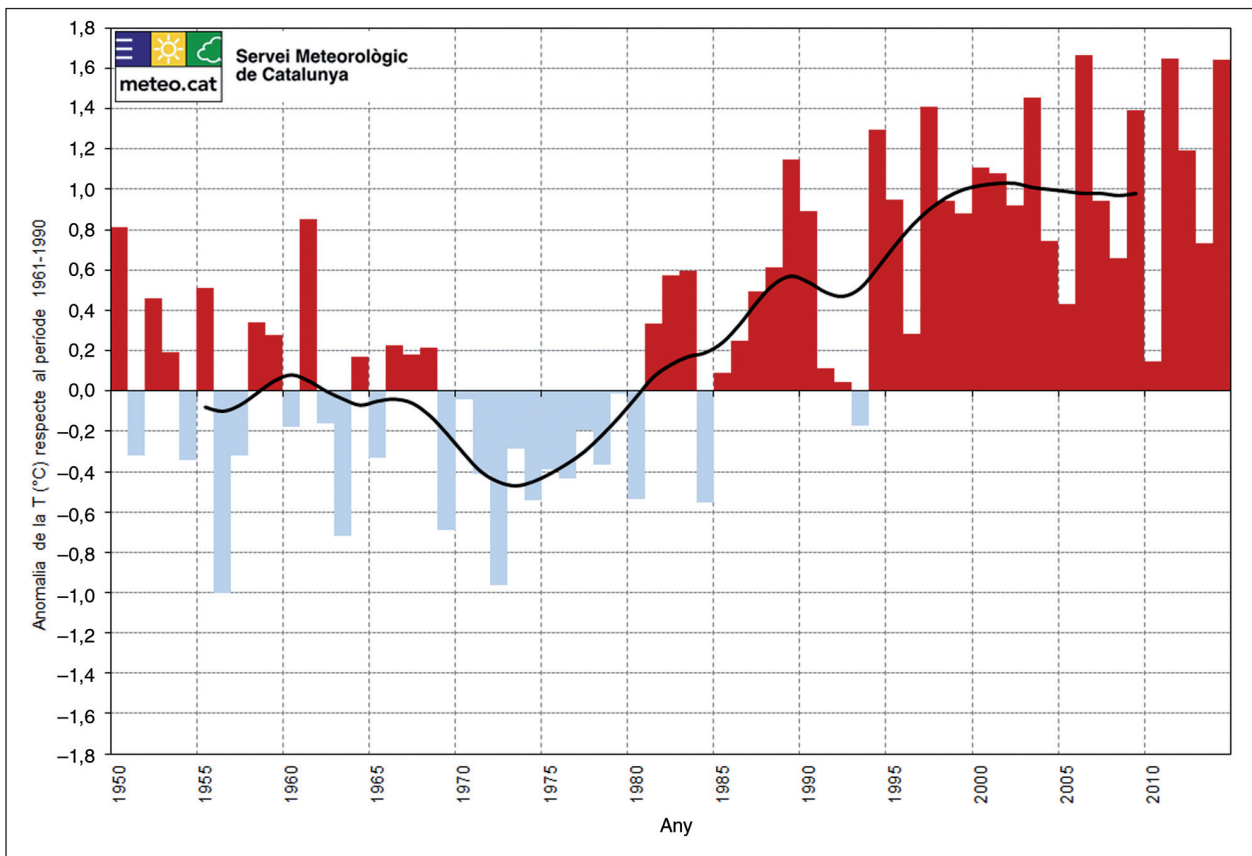


FIGURA 4.1. Evolució de la temperatura mitjana anual a Catalunya (1950-2014) expressada com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990. La corba correspon a un filtre gaussià de tretze membres.

Font: BAIC 2014 (2015).

+0,33 [+0,22/+0,44] °C/decenni, seguit a distància per la primavera, amb +0,22 [+0,11/+0,33] °C/decenni. La tardor i l'hivern mostren un ritme d'augment similar, +0,19 [+0,07/+0,30] °C/decenni i +0,18 [+0,05/+0,30] °C/decenni, respectivament. Tots els valors superen el nivell de significació estadística.

Des del punt de vista espacial, s'aprecia una distribució geogràfica de les tendències força homo-

gènia i sense comportaments diferenciats espacialment (BAIC 2014).

Finalment, la tendència de la temperatura mitjana sí que difereix sensiblement si s'analitza separatament el comportament de la mitjana de la temperatura màxima i de la temperatura mínima. És evident que la mitjana de la temperatura màxima anual (associada a la temperatura diürna) ha augmentat a un ritme molt superior que el de la mitjana

TAULA 4.1. Classificació dels cinc anys més càlids i els cinc anys més freds a Catalunya dins el període 1950-2014 (temperatura mitjana anual expressada com a anomalia respecte del període 1961-1990)

Anys més càlids		Anys més freds	
Any	Anomalia (°C)	Any	Anomalia (°C)
2006	+1,67	1956	-1,00
2011	+1,65	1972	-0,96
2014	+1,64	1963	-0,72
2003	+1,46	1969	-0,69
1997	+1,41	1984	-0,55

TAULA 4.2. Comparativa d'estudis realitzats en el darrer decenni sobre la tendència de la temperatura de l'aire en l'àmbit de la península Ibèrica

Estudi	Àmbit geogràfic	Variables	Resolució temporal	Període	Tendència anual (°C/decenni)	Estacions de l'any amb més increment
BAIC 2014 (2015)	Catalunya	Tm, Tx i Tn	Anual i estacional	1950-2014	Tm: +0,23 Tx: +0,28 Tn: +0,17	Estiu i primavera
Martínez <i>et al.</i> (2010)	Catalunya	Tx i Tn	Anual i estacional	1975-2004	Tx: +0,46 Tn: +0,51	Estiu i primavera
Río <i>et al.</i> (2012)	Espanya peninsular	Tx i Tn	Anual, estacional i mensual	1961-2006	Tx: +0,30 Tn: +0,27	Estiu i primavera
Bermejo i Ancell (2009)	Catalunya	Tx i Tn	Anual i estacional	1957-2002	Tx: +0,31 Tn: +0,22	Estiu i tardor
Brunet <i>et al.</i> (2008)	Espanya peninsular	Tm, Tx i Tn	Anual i estacional	1901-2005	Tm: +0,19 Tx: +0,25 Tn: +0,14	Estiu, hivern i tardor
González-Hidalgo <i>et al.</i> (2015)	Espanya peninsular	Tm, Tx i Tn	Mensual	1951-2010	Tm: +0,26 Tx: +0,29 Tn: +0,23	Estiu (juny i agost)
Cuadrat <i>et al.</i> (2013)	Pirineus	Tm	Anual i estacional	1959-2010	Tm: +0,20	Estiu i primavera
Esteban <i>et al.</i> (2012)	Andorra	Tx i Tn	Anual i estacional	1935-2008	Tx: +0,14 Tn: +0,05	Estiu i hivern

Tm, temperatura mitjana; Tx, temperatura màxima, i Tn, temperatura mínima.

de la temperatura mínima (lligada a la temperatura nocturna): +0,28 [+0,20/+0,36] °C/decenni respecte a +0,17 [+0,10/+0,24] °C/decenni (període 1950-2014). La mitjana estival de la temperatura màxima és la que mostra un increment més marcat, de +0,43 °C/decenni.

Altres estudis realitzats en el context ibèric confirmen, en bona part, les troballes del BAIC 2014, però amb matisos en funció de l'àmbit geogràfic i el període d'estudi (taula 4.2). Com més recent és el període, més marcat és l'increment (vegeu Martínez *et al.*, 2010, per exemple) i a la inversa. L'estiu i la primavera són clarament les estacions que concentren els increments més importants i, en general, el ritme d'increment tèrmic és més evident sobre la temperatura màxima que sobre la temperatura mínima.

4.3.2. Evolució secular

La disponibilitat de registres instrumentals que cobreixin un ampli període de temps és essencial per a copsar de manera adient la variabilitat i el canvi climàtic observats. Malauradament, registres amb una cobertura temporal plurisecular són poc habituals en el nostre àmbit geogràfic, però no inexistents. Els observatoris de l'Ebre (Roquetes, el Baix Ebre) i Fabra (Barcelona, el Barcelonès) constitueixen un bon referent en aquest sentit, ja que disposen de més de cent anys de registres, pràcticament ininterromputs i sense canvis d'emplaçament.

L'Observatori de l'Ebre ha registrat, per al període 1905-2014, un increment de la temperatura mitjana anual de +0,13 [+0,10/+0,16] °C/decenni, i l'estiu ha estat el període de l'any amb un augment més

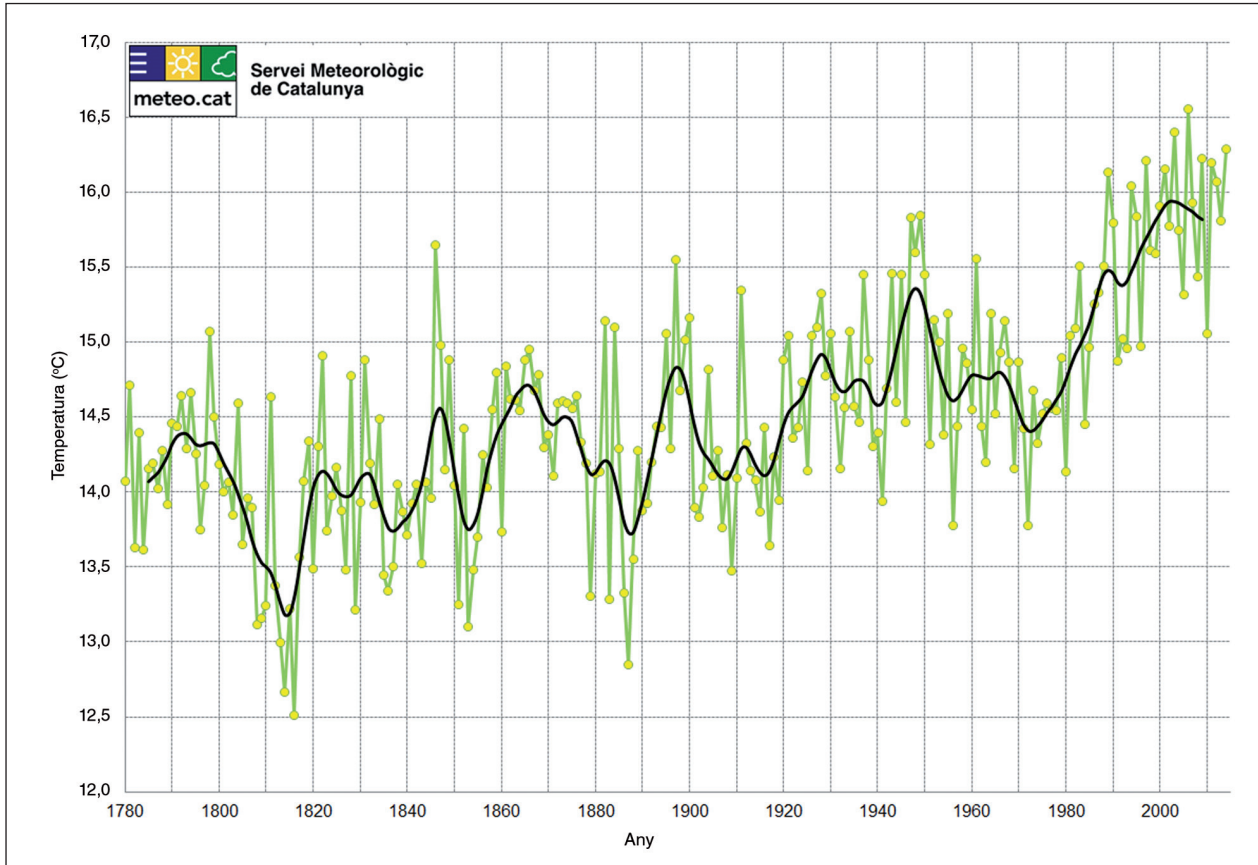


FIGURA 4.2. Evolució de la temperatura mitjana anual a Barcelona (1780-2014). La corba correspon a un filtre gaussià de tretze membres.
Font: BAIC 2014 (2015).

pronunciat (+0,17 [+0,12/+0,22] °C/decenni). L'Observatori Fabra, amb una cobertura lleugerament inferior, ha observat, per al període 1914-2014, un augment de la temperatura mitjana anual idèntic: +0,13 [+0,09/+0,17] °C/decenni, i de nou l'estiu ha estat l'època de l'any amb l'increment més marcat. A ambdós casos, els resultats són estadísticament significatius i la temperatura màxima ha augmentat a un ritme superior que el de la temperatura mínima. Aquests resultats tenen una gran similitud amb els aportats per Brunet *et al.* (2008) per a un període més ampli (1850-2005) i per al conjunt de l'Espanya peninsular, que xifra en +0,11 i 0,08 °C l'increment mitjà anual per a la temperatura màxima i mínima, respectivament.

D'ençà de l'edició del SICCC (2010), s'han dut a terme treballs de rescat i digitalització de diverses observacions meteorològiques realitzades a la ciutat de Barcelona des de finals del segle XVIII. Fruit de la iniciativa, s'ha pogut obtenir la sèrie homogeneïtzada de la temperatura mitjana de la ciutat,

a resolució mensual i des de 1780, que s'erigeix com la de més cobertura temporal i continuïtat de la península Ibèrica (Prohom *et al.* 2012). La figura 4.2 mostra l'evolució de la temperatura mitjana anual, i denota un increment significatiu, per al període 1780-2014, de +0,07 [+0,06/+0,08] °C/decenni, és a dir, la temperatura actual és 1,6 °C més elevada que l'enregistrada a final del segle XVIII a la ciutat. Destaca l'elevada variabilitat interdecennal mesurada al segle XIX, amb un període fred al voltant del decenni de 1810, coincidint amb el mínim solar de Dalton i dues grans erupcions volcàniques d'afectació global (Tambora i una altra encara sense localitzar). També és evident el fort increment tèrmic, sense precedents, experimentat des del final del decenni de 1970.

4.4. Canvis en la precipitació

Si bé hi ha un consens pràcticament absolut en la constatació d'un increment tèrmic lligat al canvi climàtic d'origen antròpic, l'afectació d'aquest fenomen sobre la precipitació és menys clara

i genera senyals no tan robusts com el de la temperatura. L'extraordinària variabilitat espacial i temporal d'aquesta variable, amb una forta dependència de la disponibilitat i la qualitat de les dades i del període d'anàlisi, comporta arribar a conclusions sobre la seva tendència amb un grau més petit de confiança. A escala global, per exemple, el darrer informe de l'IPCC (2013) assenyalava que el grau de confiança en la determinació de canvis globals en la precipitació és baix per al període previ a 1950 i mitjà per a períodes més recents. Catalunya, amb una elevada variabilitat i diversitat pluviomètrica, participa d'aquesta problemàtica.

4.4.1. Evolució recent (des de mitjan segle xx fins al present)

Els estudis duts a terme al Principat conclouen que no hi ha cap tendència general estadísticament significativa envers un descens o un augment de la precipitació mitjana anual en l'època recent. El BAIC 2014, utilitzant dades de seixanta-vuit sèries climàtiques per al període 1950-2014, indica que el conjunt del país registra un lleuger descens de la precipitació anual fixat en $-1,2$ [$-3,8/+1,3$] %/decenni, però no significatiu. Segons aquest mateix informe, l'estiu és l'única època de l'any que mostra una tendència estadísticament significativa envers un descens de la

precipitació: $-5,0$ [$-9,4/-0,5$] %/decenni. L'hivern també marca un descens, però menys pronunciat, de $-1,9$ [$-8,8/+4,9$] %/decenni, mentre que la primavera i la tardor no presenten cap tendència clara. Altres estudis centrats en la península Ibèrica apunten cap a aspectes similars (taula 4.3). González-Hidalgo *et al.* (2010) analitzen la tendència de la precipitació mensual a les conques hidrogràfiques espanyoles per al període 1946-2005, i identifiquen els mesos de març i juny com els més sensibles al descens de la precipitació, tant a la conca de l'Ebre com a les conques internes catalanes, mentre que el novembre és l'únic mes que tendeix a registrar un increment, però sense significació estadística. D'altra banda, l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (OPCC) conclou, en un dels seus informes, que, per al període 1959-2010 i per al conjunt del Pirineu, es detecta un descens de la precipitació anual de 2,5 %/decenni (OPCC, 2014).

Si amb la temperatura de l'aire no s'apreciaven comportaments diferenciats espacialment, això sí que succeeix amb la precipitació. La figura 4.3 mostra la distribució espacial de la tendència de la precipitació anual per al període 1950-2014, en el qual s'observa un predomini de sèries pluviomètriques amb tendència negativa. No obstant això, la Costa Brava i els sectors a cavall de les

TAULA 4.3. Comparativa d'estudis realitzats en el darrer decenni sobre la tendència de la precipitació en l'àmbit de la península Ibèrica

Estudi	Àmbit geogràfic	Resolució	Període	Tendència anual (%/decenni) * amb significació estadística	Tendències estacionals o mensuals (%/decenni) * amb significació estadística
BAIC 2014 (2015)	Catalunya	Anual i estacional	1950-2014	-1,2	Hivern: -1,9 Primavera: +0,2 Estiu: -5,0* Tardor: +0,3
González-Hidalgo <i>et al.</i> (2010)	Conques de l'Ebre i internes catalanes	Anual i mensual	1946-2005	Negativa	Març: de -10 a -8 Juny: de -5 a -4 Novembre: de +4 a +7
Luís <i>et al.</i> (2009)	Conques de l'Ebre i internes catalanes	Anual i estacional	1951-2000	De -2,5 a -2,4	Hivern: de -4,1 a +2,1 Primavera: de -1,0 a -4,7 Estiu: de -4,0 a -4,1 Tardor: de -1,4 a -1,8
OPCC (2014)	Pirineu	Anual i estacional	1959-2010	-2,5*	Hivern: -4,2 Primavera: -0,6 Estiu: -3,3 Tardor: -2,4

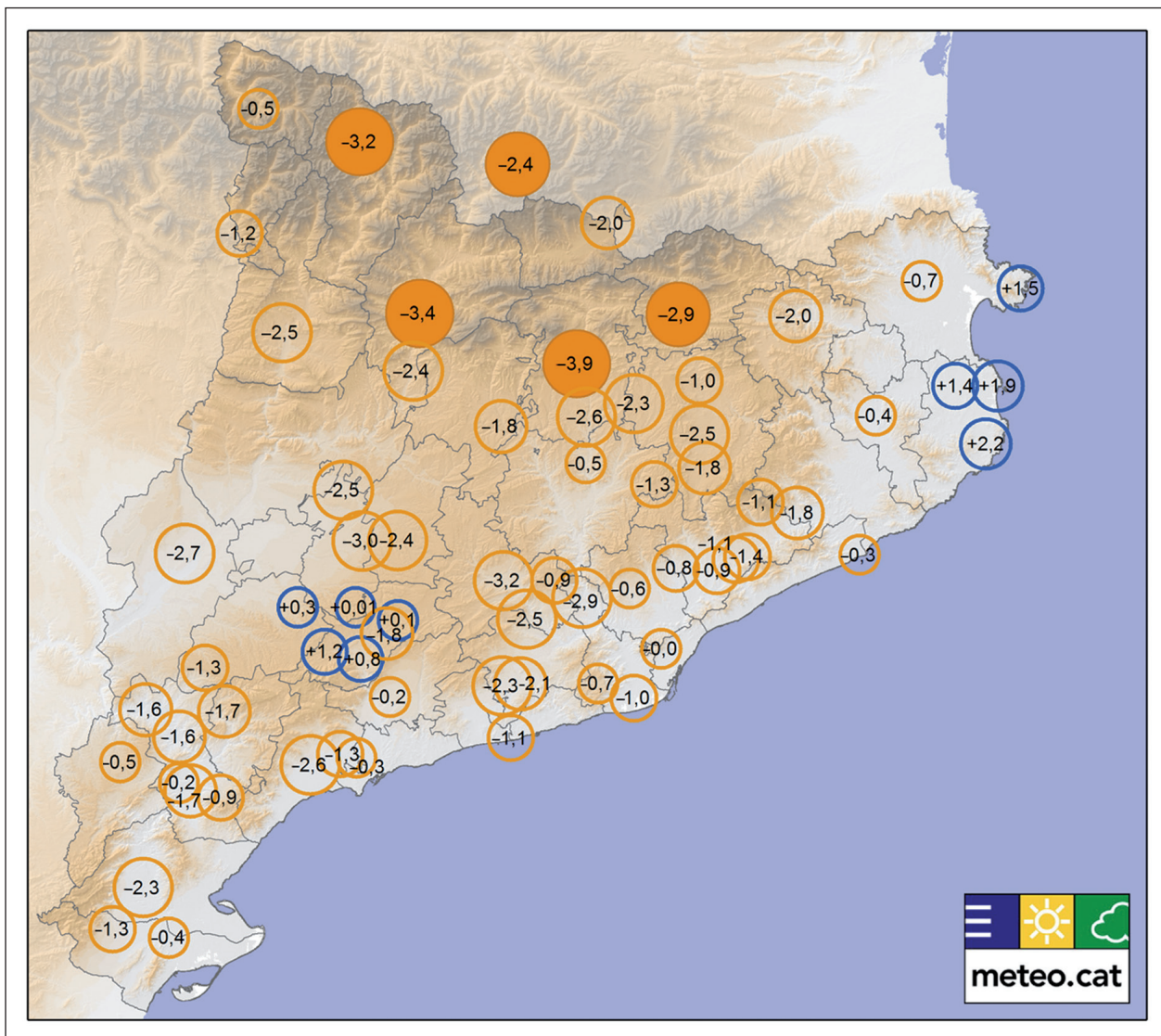


FIGURA 4.3. Tendència de la precipitació mitjana anual a Catalunya (1950-2014) expressada en %/decenni. El radi de la circumferència és proporcional al percentatge de canvi per decenni experimentat per la precipitació i el color indica el signe (blau = augment, taronja = descens). El cercle taronja indica que la tendència és estadísticament significativa segons el test de Mann-Kendall ($p < 0,05$).

Font: BAIC 2014 (2015).

comarques de la Conca de Barberà, l'Urgell i les Garrigues mostren tendències lleugerament positives (de prop de +2 %/decenni), mentre que l'àmbit pirinenc i prepirinenc assenyalen un descens (d'un 3 %/decenni) i, en alguns casos, supera el llindar de significació estadística. Estacionalment, l'estiu és el període amb més presència de tendències negatives i significatives, especialment localitzades al sud i a ponent, un patró que es repeteix a l'hivern però de manera menys marcada. La primavera i la tardor presenten una distribució espacial més caòtica i sempre sense superar el llindar de significació.

4.4.2. Evolució secular

L'anàlisi de la tendència de la precipitació a més llarg termini comporta fer referència a les sèries dels observatoris de l'Ebre i Fabra, amb més de cent anys de dades disponibles i de bona qualitat. Ambdós mostren tendències no significatives però lleugerament positives: l'Observatori de l'Ebre, de +0,6 %/decenni per al període 1905-2014, i l'Observatori Fabra, de +0,3 %/decenni per al període 1914-2014. Només l'estiu experimenta a ambdós punts una tendència negativa, de -1,4 %/decenni i -1,8 %/decenni, respectivament, però de nou sense significació.

En els darrers anys s'han recuperat les observacions de la precipitació mensual de Barcelona, des de 1786 fins al present (Prohom *et al.*, 2015). Per a la globalitat del període, s'aprecia un augment de la precipitació anual del 18 %, sobretot motivat per les baixes precipitacions registrades a principi del segle XIX. És especialment remarcable el període 1810-1840, amb la presència continuada d'anomalies de precipitació negatives, que no s'han experimentat en època més recent. Des de 1901 hi ha una lleugera tendència a la baixa, de -7 mm/decenni.

4.5. Canvis en altres variables atmosfèriques

Paral·lelament als canvis experimentats en la temperatura de l'aire i la precipitació mitjanes, altres variables atmosfèriques manifesten, també, modificacions pel que fa al comportament.

L'evaporació i l'evapotranspiració són dues variables altament relacionades amb la temperatura de l'aire, i els darrers anys s'han publicat diversos estudis sobre la seva evolució recent a la península Ibèrica. Així, Sánchez-Lorenzo *et al.* (2014) indiquen que, per al període 1985-2011, i basant-se en observacions d'evaporímetres de Piché, hi ha una tendència significativa a l'augment de 0,15 mm per dia i decenni. D'altra banda, Vicente-Serrano *et al.* (2014b) contrasten diversos mètodes de càlcul de l'evapotranspiració per al període 1961-2011 i conclouen que hi ha un increment marcat d'aquesta variable a totes les escales temporals. La humitat de l'aire també ha estat objecte d'anàlisi en darrers treballs com el de Vicente-Serrano *et al.* (2014a), que constata un descens marcat de la humitat relativa mitjana anual a la península Ibèrica ($-1,0$ %/decenni) per al període 1961-2011, especialment remarcable a l'estiu ($-1,6$ %/decenni) i a la primavera ($-1,0$ %/decenni). Els mateixos autors, però, no identifiquen canvis apreciables en la humitat específica al Principat.

Un altre element de gran interès en el context del canvi climàtic és la presència de més o menys nuvolositat, per l'efecte potenciador/mitigador de l'escalfament global. Per al cas de la península Ibèrica, recentment s'han dut a terme diversos estudis. Sánchez-Lorenzo *et al.* (2012) identifiquen un augment del $+0,4$ %/decenni en la nuvolositat total anual al nord-est peninsular entre 1913 i 2010,

però amb un descens marcat des del decenni de 1960 ($-1,1$ %/decenni). Aquest fet es correspon amb la insolació (nombre d'hores de sol efectiu), que marca un increment anual significatiu des del decenni de 1980 fins al present (Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2007) i que queda confirmat per les dades d'insolació dels observatoris de l'Ebre i Fabra. Prenent com a període comú el 1968-2014, el BAIC 2014 assenyala un increment anual de $+68$ hores/decenni i $+83$ hores/decenni, respectivament, a tots dos punts.

La identificació de canvis en determinats meteors sovint es fa difícil per la naturalesa de les variables (observacions no instrumentals) i pels problemes evidents d'homogeneïtat i continuïtat que hi van associats. Per aquest motiu, cal ser curosos a l'hora d'analitzar aquest tipus de sèries. Pel que fa al nombre de dies de neu, es constata un lleuger descens als observatoris de l'Ebre ($-0,16$ dies/decenni i significatiu) i Fabra ($-0,10$ dies/decenni) dins el període 1919-2014, però a l'àrea pirinenca no hi ha cap tendència prou clara o sòlida. Només s'afirma una tendència envers el descens del gruix de neu a la primavera (López-Moreno, 2005). Altres meteors analitzats són els dies de boira a tres observatoris, els abans esmentats de l'Ebre i Fabra, i a Lleida. A tots tres, es constata una lleugera tendència al descens (Lleida, $-0,59$ dies de boira/decenni, 1941-2014; Ebre, $-0,23$ dies de boira/decenni, 1919-2014; Fabra, $-2,57$ dies de boira/decenni, 1919-2014), que és significativa només per al cas de Fabra. Finalment, un estudi recent sobre l'evolució dels dies de tempesta a l'Observatori Fabra no identifica cap tendència remarcable en l'interval 1917-2012 (Martín-Vide *et al.*, 2012).

4.6. Canvis en els extrems climàtics

Quan s'analitzen els canvis detectats en els extrems climàtics sovint es fa referència a la tendència observada en els anomenats *índexs d'extrems*, és a dir, índexs que es basen en la probabilitat d'ocurrència o en el simple comptatge de valors que excedeixen un llindar, normalment prefixat per la climatologia normal. Aquests indicadors són fàcils d'interpretar i computar, es poden aplicar a un ampli ventall de climes i aporten, també, informació sobre la durada, la intensitat i la persistència d'esdeveniments extrems. En els darrers anys, han estat objecte d'anàlisi detallat per l'elevat impacte

econòmic d'aquests fenòmens i s'ha creat un grup internacional d'experts que n'analitza el comportament per mitjà de la formulació de diversos indicadors (ETCCDI).

Tot seguit es mostren alguns estudis que han analitzat l'evolució dels extrems de la temperatura i la precipitació al Principat o a àrees properes. No obstant això, el capítol 6 d'aquest INFORME complementa i amplia els resultats aportats.

4.6.1. Els extrems de la temperatura i la precipitació

El darrer IPCC (2013) constata, amb un grau de confiança molt elevat, un increment en tots els índexs relacionats amb l'augment tèrmic i una disminució en els relatius a dies o períodes freds a Europa i a la Mediterrània. El Principat participa plenament d'aquesta tendència, tal com informa el BAIC 2014 per al període 1950-2014. La taula 4.4 mostra els resultats d'aquesta tendència per a alguns índexs d'extrems, obtinguts a partir de vint-i-quatre sèries de temperatura diària. S'hi aprecia un increment dels dies i nits càlids, mentre que disminueix el percentatge de dies i nits freds, que és significatiu estadísticament arreu del domini. L'anàlisi realitzada en el mateix estudi per a les sèries dels observatoris de l'Ebre i Fabra mostra un increment dels indicadors lligats a condicions més càlides. Per exemple, a ambdós observatoris actualment es registren entre 26 i 23 nits tropicals més que no pas a principi del segle xx, i les ratxes càlides són entre 10 i 11 dies més llargues. En sentit contrari, la durada de la ratxa freda és entre 7 i 8 dies més curta i els dies de glaçada anuals han disminuït en 3 dies per al mateix període.

Pel que fa als extrems de la precipitació, es fa més difícil constatar canvis apreciables i significatius, atesa la naturalesa de la variable i el clima mediterrani en què es troba, majoritàriament, el país. Sí que és possible detectar, per al període 1950-2014, un increment en la durada dels lapses temporals sense precipitació destacada (>1 mm), especialment a la meitat sud. No obstant això, no es detecta cap tendència significativa envers un increment dels índexs relacionats amb la torrencialitat de la precipitació, a excepció de l'índex simple d'intensitat diària als observatoris de l'Ebre i Fabra, i per als períodes 1905-2014 i 1914-2014, respectivament.

Altres estudis conclouen que a Catalunya sí que hi ha evidències d'un augment de la precipitació extrema a la primavera, mentre que la tendència contrària es detecta a l'hivern (Beguería *et al.*, 2011). D'altra banda, Serra *et al.* (2006) indiquen que el nombre de períodes de sequera a Catalunya durant la segona meitat del segle xx presenta una tendència significativa cap a l'augment a resolució anual i durant l'hivern.

4.7. Canvis en la temperatura i el nivell de les aigües costaneres

L'aigua del mar i l'atmosfera són dues masses fluides en contacte que es troben en interacció constant. Per això, els canvis en la temperatura de l'aire repercuteixen, juntament amb altres factors, tant en la calor emmagatzemada per les capes superiors de la columna d'aigua, com en l'expansió o la contracció del volum d'aigua i en la salinitat.

La sèrie climàtica de la temperatura de l'aigua del mar de l'Estartit (Baix Empordà), amb registres

TAULA 4.4. Canvis observats en un ventall d'índex d'extrems de temperatura i precipitació a Catalunya (1950-2014)

Índex	Tendència anual
Dies càlids (Tx90p)	De +3,0 a +1,1 %/decenni
Dies freds (Tx10p)	De -0,5 a -1,8 %/decenni
Nits càlides (Tn90p)	De +0,7 a +2,0 %/decenni
Nits fredes (Tx90p)	De -0,5 a -1,5 %/decenni
Durada de la ratxa càlida	De +0,5 a +3,1 dies/decenni
Longitud màxima de la ratxa seca	De -0,6 a +2,7 dies/decenni
Índex simple d'intensitat diària	De +0,4 a -0,3 mm/(dia decenni)

Font: BAIC 2014 (2015).

continus d'aquesta variable a diferents profunditats des de 1974, i la posada en funcionament d'un mareògraf l'any 1990 converteixen aquest punt de la costa catalana en un referent per a analitzar l'evolució de la temperatura i el nivell de l'aigua del mar.

Tal com reflecteix el BAIC 2014, la temperatura de l'aigua del mar a l'Estartit ha augmentat de manera estadísticament significativa a un ritme de $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ als primers 50 m de fondària, una tendència que disminueix fins a $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ als 80 m de profunditat (figura 4.4). Aquest augment de la capa superficial del mar es troba reflectit en altres estudis (Vargas-Yáñez *et al.*, 2005). L'anàlisi estacional revela que l'escalfament es produeix de manera estadísticament significativa en totes les estacions de l'any, i que és a l'estiu i a la tardor quan l'augment és més pronunciat, fins als 50 m de profunditat, amb tendències que es mouen entre $+0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ a l'estiu i a -20 m , i $+0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ a la tardor i a -50 m .

El nivell mitjà del mar al mateix punt augmenta a un ritme de $+3,9\text{ }[+2,6/+5,2]\text{ cm}/\text{decenni}$ des de 1990. Aquest increment anual és estadísticament significatiu, com també ho són les tendències obtingudes en totes les estacions tret de l'hivern: $+4,5\text{ }[+2,9/+6,0]\text{ cm}/\text{decenni}$ a la primavera, $+3,3\text{ }[+2,4/+4,3]\text{ cm}/\text{decenni}$ a l'estiu i $+3,3\text{ }[+1,6/+5,0]\text{ cm}/\text{decenni}$ a la tardor (figura 4.5).

A partir de dades extretes del PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level), les variacions de nivell del mar a l'Estartit són semblants a les d'altres sèries mediterrànies de longitud similar, com ara les de València (amb dades des del 1995), Caloforte (a Sardenya, Itàlia, també des del 1995), Gènova i Livorno (totes dues a Itàlia i amb inici l'any 2001). Marsella presenta una tendència a l'augment sensiblement més petita a causa de la notable longitud de la sèrie (s'inicia l'any 1885 i reflecteix la disminució del nivell del mar que va tenir lloc a la Mediterrània des dels anys cinquanta fins a mitjan anys noranta). Si s'estudia l'evolució global del nivell del mar a Marsella des de 1990 per a fer-la comparable a la de l'Estartit, la

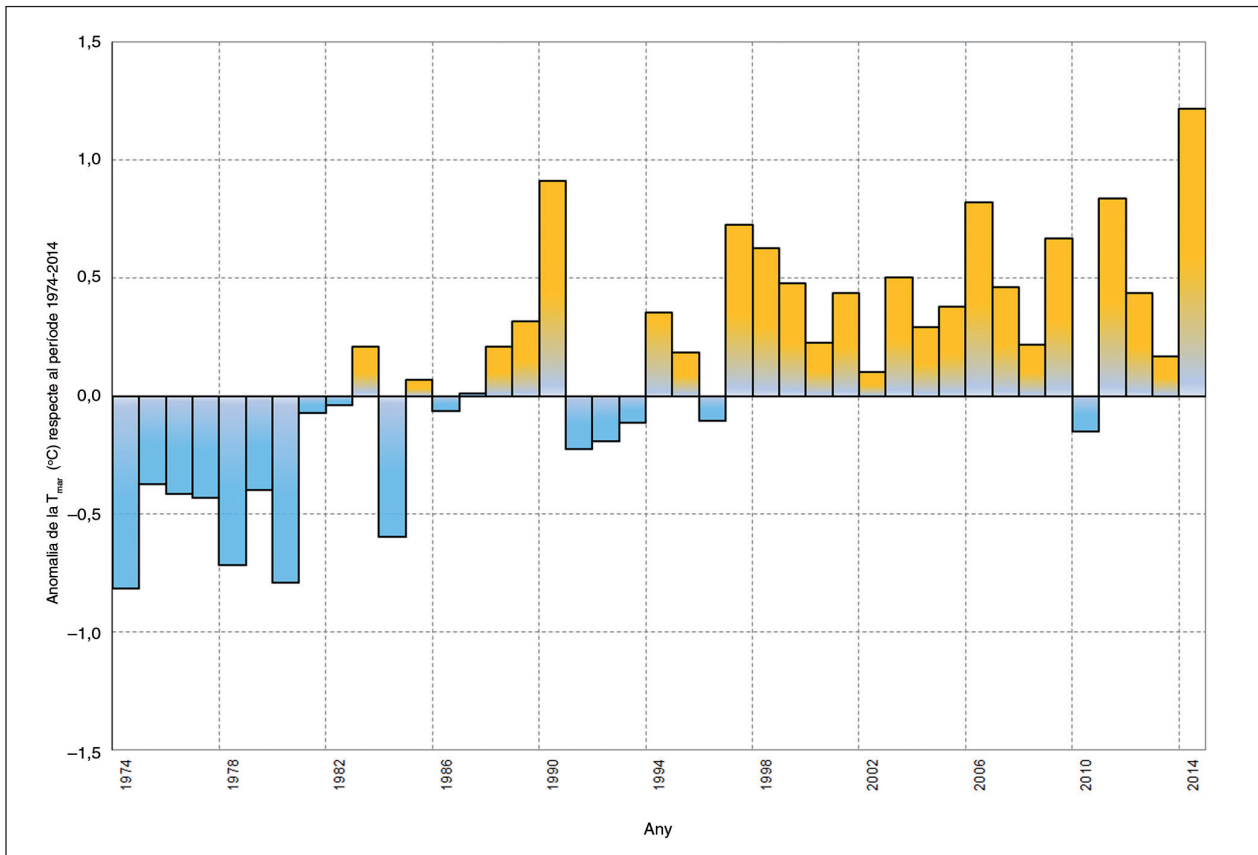


FIGURA 4.4. Anomalia de la temperatura mitjana anual de l'aigua del mar a la superfície a l'Estartit (1974-2014).

Font: BAIC 2014 (2015), a partir de les dades facilitades per Josep Pascual.

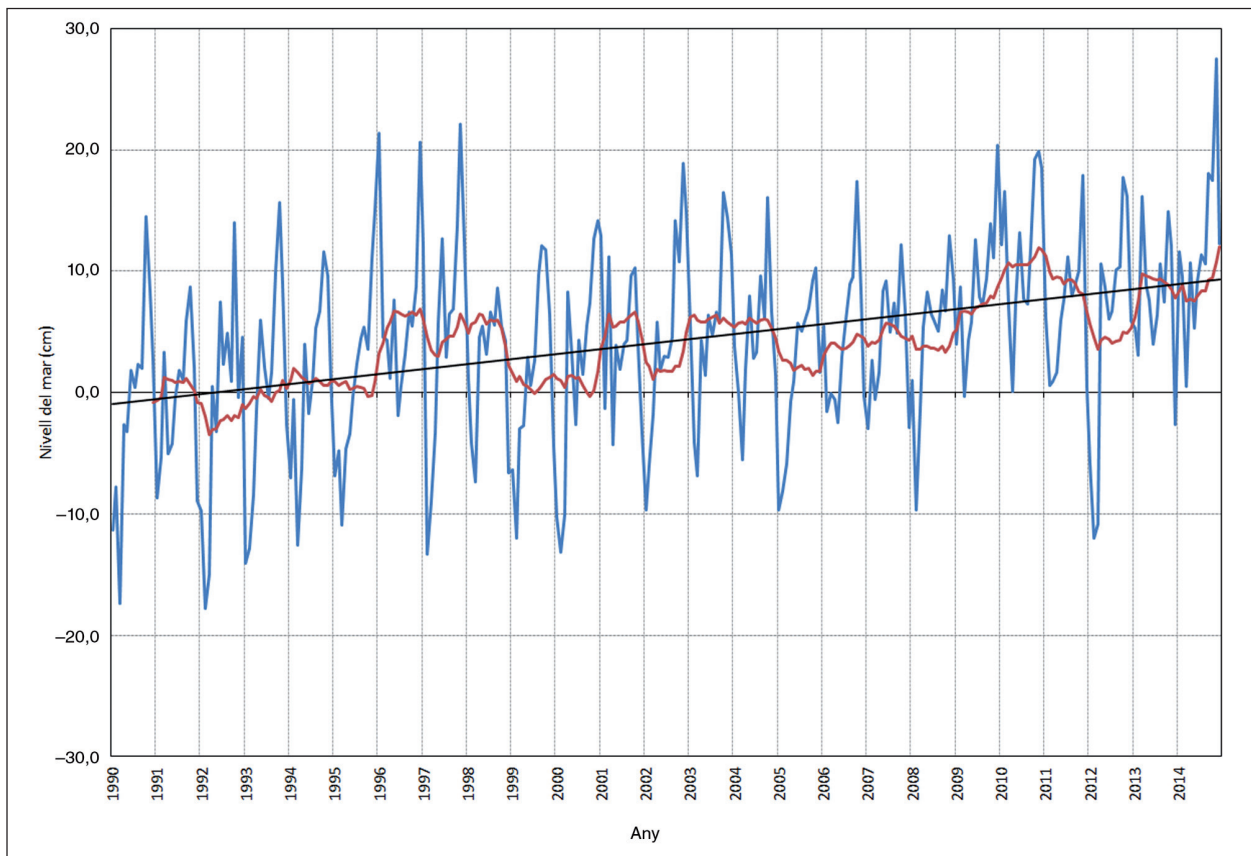


FIGURA 4.5. Evolució mensual del nivell del mar a l'Estartit (1990-2014). En vermell es dibuixa la mitjana mòbil de dotze mesos de període i la línia recta mostra la tendència lineal experimentada.

Font: BAIC 2014 (2015), a partir de les dades facilitades per Josep Pascual.

tendència a l'augment del nivell del mar pren gairebé el mateix valor (Lionello, 2012).

Al *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC (IPCC, 2013) s'afirma que és molt probable que la taxa mitjana global d'elevació del nivell del mar hagi estat de +2,0 [+1,7/+2,3] mm/any en el període 1971-2010, i que hagi augmentat fins a +3,2 [+2,8/+3,6] mm/any entre el 1993 i el 2010. Aquest últim valor és força coherent amb la tendència d'augment del nivell del mar obtinguda a l'Estartit.

4.8. Les glaceres i la neu al Pirineu

Paral·lelament als registres instrumentals convencionals, també existeixen altres fonts d'informació indirectes que permeten copsar la influència i l'evolució del clima en determinats ambients. Aquest és el cas de les observacions de les masses de gel i la neu a les àrees més elevades del Pirineu occidental català, que han pogut ser analitzades en detall a partir d'imatges i fotografies preses des del decenni de 1980.

En aquests moments, es pot afirmar amb rotunditat que a Catalunya ja no hi ha cap aparell glacial visible, i únicament s'intueix l'existència d'una glacera rocallosa al massís de Besiberri. Es tracta d'una congelada de gel, probablement fragmentada, que podria arribar a superar només en algun sector els 10 m de gruix i que es troba soterrada per una massa d'entre 2 i 4 m de material d'erosió (glacera negra), fet que no en permet l'observació visual. Ocupa part d'un espai d'unes 6 ha de superfície a una altura mitjana de 2.715 m, a la base de l'aresta Besiberri Sud (3.017 m) - pas de Trescazes (2.902 m) - Besiberri del Mig (2.994 m), i el límit inferior queda clarament marcat per una morrena terminal (42° 36' 02" N 0° 49' 07" E). Tenint en compte estudis efectuats en altres aparells de característiques semblants i que en el període 2008-2014 es va produir l'absència de neu estival, la pèrdua de gruix s'estima en 1,25 m (uns 25 cm de mitjana anual).

Els veritables aparells glacials més propers es troben en dos massissos pirinencs que limiten amb

Catalunya: el de Mont Valier, a l'Arieja, en territori francès, a tocar de la Vall d'Aran, i al d'Aneto-Maladeta, a l'Aragó, al límit de l'Alta Ribagorça. Al massís Aneto-Maladeta, dels 13 aparells glacials catalogats l'any 2008 s'ha passat a 11 aparells al final del 2014, amb una regressió contundent de tots (pèrdua de gruix i d'extensió), que ha generat fragmentacions i catalogacions inferiors a la de glacera (congesta de gel i aparell residual). Les pèrdues actuals de gruix de gel són d'1,5 cm/any i tripliquen les mitjanes del període 1985-2005, que se situaven entre els 0,45 i 0,60 cm/any segons els sectors. Quant a les pèrdues d'extensió, en el període 2008-2014 el retrocés de la glacera oriental de la Maladeta (la tercera en extensió

dels Pirineus) ha estat de 81,5 m (amb una mitjana de 13,6 m/any). Si es comparen dos períodes recents d'onze anys, s'aprecia l'increment de la pèrdua de llargada de la llengua de gel: període 1992-2003, retrocés de 67,7 m (amb una mitjana de 6,15 m/any); període 2003-2014, retrocés de 162,5 m (amb una mitjana de 14,8 m/any). Com a exemple de fragmentació, a la glacera d'Aneto se'n va produir una el 19 d'agost de 2013, al límit distal del lòbul oriental de la glacera, fet que va donar origen a la congesta de gel inferior d'Aneto (sense activitat), que segueix pel seu compte, i com a aparell independent, el camí de l'extinció (figura 4.6). Si, tal com es preveu, la tendència climàtica actual segueix, els aparells glacials més

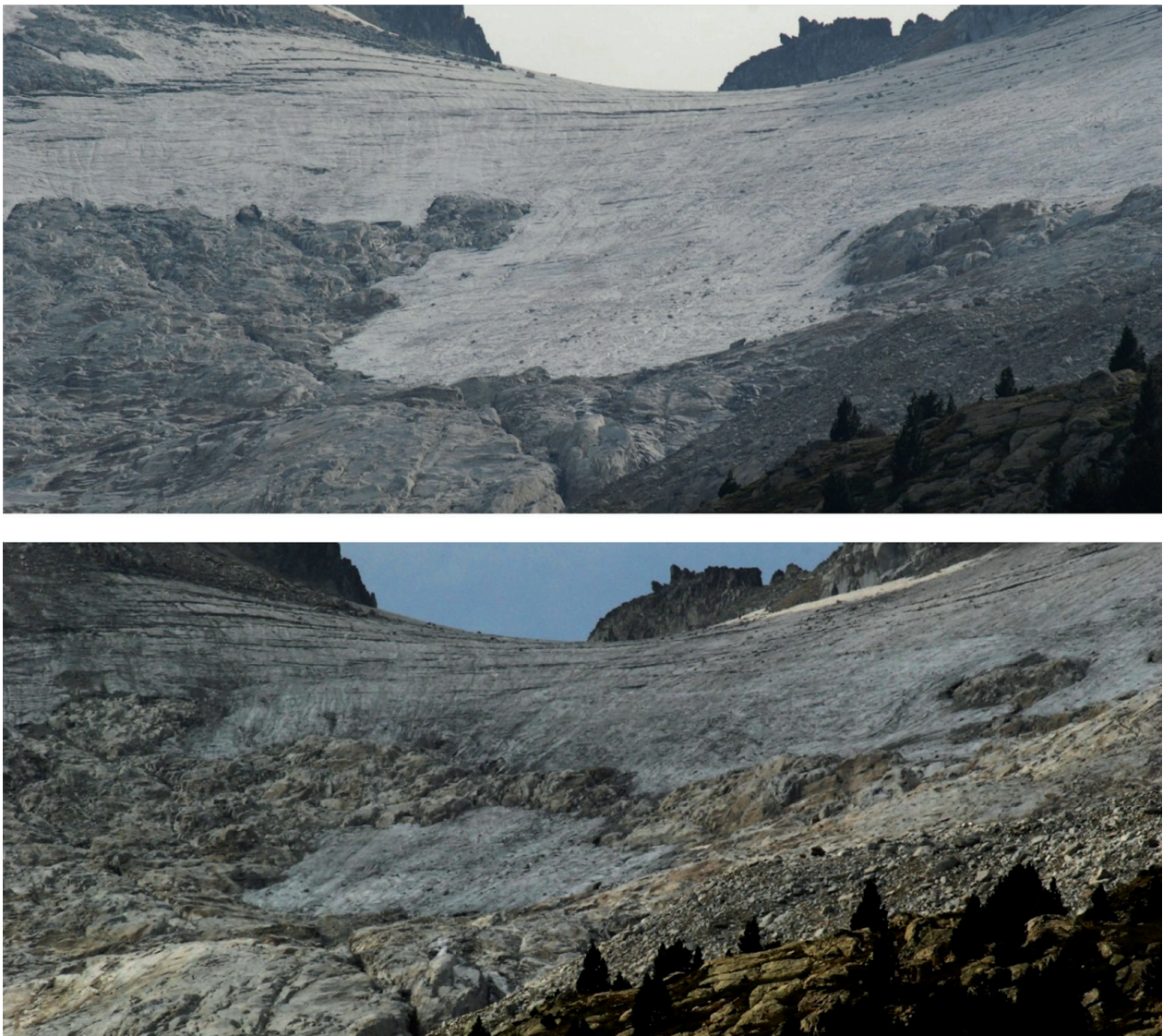


FIGURA 4.6. Glacera d'Aneto. Comparativa 2009-2012. Fragmentació del límit inferior del lòbul oriental que dona origen a la congesta de gel inferior d'Aneto.

Font: Jordi Camins.

propers a Catalunya es continuaran deteriorant i acabaran desapareixent; fins i tot les glaceres actualment més extenses i les que ocupen indrets més favorables hauran deixat de ser actives en un termini d'uns vint-i-cinc anys, evolucionaran cap a congestes de gel (al voltant de l'any 2040), i al cap d'uns altres deu anys (a mitjan segle XXI) se n'haurà produït l'extinció total després d'un breu recorregut per un estat residual.

4.9. Conclusions

Aquest capítol ha tractat de plasmar noves evidències i actualitzacions de les dades sobre el canvi climàtic observat a Catalunya, des de la publicació del SICCC (2010). Pel que fa a la temperatura de l'aire, es constata un increment mitjà anual de $+0,23$ °C/decenni per al període 1950-2014, prenent com a base vint-i-quatre sèries de qualitat i homogènies. El ritme d'augment de la mitjana de la temperatura màxima anual és de $+0,28$ °C/decenni, superior al que correspon a la mínima, de $+0,17$ °C/decenni. Estacionalment, l'estiu és l'època de l'any en què l'increment de la temperatura mitjana té una tendència més marcada, de $+0,33$ °C/decenni. Aquests resultats estan en consonància amb diversos treballs de recerca apareguts en el darrer decenni i que tenen el Principat o la península Ibèrica com a àrea d'estudi. L'anàlisi específica de les sèries centenàries (observatoris de l'Ebre i Fabra) confirma l'increment tèrmic des de l'inici del segle XX, a un ritme de $+0,13$ °C/decenni. Es comporta en el mateix sentit la sèrie plurisecular de Barcelona, que des del 1780 detecta un increment de la temperatura mitjana anual de $+0,07$ °C/decenni, és a dir, $1,6$ °C d'increment absolut.

Pel que fa a la precipitació, l'anàlisi de seixanta-vuit sèries mensuals per al període 1950-2014 evidencia una tendència anual i global per a Catalunya lleugerament negativa, de $-1,2$ %/decenni, però que no és estadísticament significativa. Territorialment, el sector pirinenc i prepirinenc serien els àmbits més sensibles al descens de la pluviometria anual (entre $-2,4$ i $-3,9$ %/decenni) i en aquest cas superarien el nivell de significació. Amb una cobertura temporal més àmplia, tant l'Observatori de l'Ebre com l'Observatori Fabra mostren una tendència oposada, positiva, però sense ser estadísticament significativa. S'evidencia el mateix com-

portament amb la sèrie plurisecular de Barcelona, que detecta un increment del 18 % per al període 1786-2014, lligat, en bona part, a un episodi greu de sequera entre 1810 i 1840, que n'accentua la tendència.

Paral·lelament a la temperatura de l'aire i a la precipitació, es constaten canvis apreciables en altres variables. L'evaporació i l'evapotranspiració han augmentat significativament des del decenni de 1950, i la nuvolositat ha disminuït d'una manera marcada des del decenni de 1960, a un ritme d' $1,1$ %/decenni. Els dies de neu als observatoris de Fabra i Ebre també s'han reduït des del 1919, i també els dies de boira als mateixos observatoris i a Lleida, en aquest cas des del decenni de 1940. En canvi, no s'han detectat canvis significatius en els dies de tempesta a l'Observatori Fabra.

Els extrems climàtics a Catalunya també han patit variacions remarcables des de 1950. Els índexs basats en vint-i-quatre sèries diàries de temperatura detecten un augment estadísticament significatiu dels dies d'estiu, les nits càlides i els dies càlids, mentre que disminueixen amb significació estadística els dies i nits freds. Per contra, els índexs de precipitació no mostren cap tendència tan evident, i tan sols s'aprecia un increment de la durada dels períodes sense precipitació al sud del país, i un augment de l'índex simple d'intensitat diària, per als casos dels observatoris de l'Ebre i Fabra, i prenent dades des de principi del segle XX.

Pel que fa a la temperatura de l'aigua del mar mesurada a l'Estartit, la sèrie més llarga i contínua disponible al país (1974-2014), ha augmentat a un ritme de $+0,30$ °C/decenni des de la superfície i fins a 50 m de fondària. Estacionalment, la tardor presenta l'augment més marcat, i màxim a 50 m de fondària ($+0,37$ °C/decenni). Tots els valors són estadísticament significatius. En la mateixa línia, el nivell de l'aigua del mar a aquest punt de la costa mostra un increment de $+3,9$ cm/decenni des de 1990, un ritme similar a l'experimentat en altres punts de la conca mediterrània occidental.

Finalment, la millor constatació de les conseqüències de l'increment tèrmic queda evidenciada pel fet que ja no queda cap aparell glacial visible a Catalunya i que en els sectors pirinencs propers

(Pirineu aragonès i de l'Arieja) es troben clarament en retrocés: dos dels tretze aparells glacials catalogats el 2008 s'han extingit.

4.10. Recomanacions

El manteniment d'una xarxa d'observació meteorològica en bon estat i amb una densitat espacial adequada (capaç de reproduir la riquesa climàtica del país) és una condició indispensable per a disposar de sèries climàtiques de qualitat, a partir de les quals poder efectuar anàlisis sobre l'evolució del clima. En aquest sentit, les diverses administracions públiques competents en aquesta matèria han de vetllar per la continuïtat de les observacions i permetre un bon monitoratge del clima.

El control de qualitat de les dades que componen les sèries climàtiques i l'homogeneïtzació són tasques fonamentals per a poder, posteriorment, extreure'n profit climàtic. Sense aquestes garanties bàsiques, les conclusions obtingudes de l'anàlisi de les sèries no tenen valor. Així, doncs, cal continuar mantenint el màxim rigor en la qualitat de les dades i en l'homogeneïtat de les sèries, recollir i emmagatzemar la informació disponible sobre la metadada i potenciar el rescat de sèries climàtiques inèdites.

Cal continuar fomentant el contacte entre els diferents grups de recerca, institucions i organismes que es dediquen a la recerca en temes de meteorologia i climatologia, tant en l'àmbit local com internacional, per tal d'evitar duplicitats en les línies de recerca i reforçar la recerca en els camps encara poc explorats.

Cal millorar la difusió de la informació climàtica a la població en general. La rapidesa i l'agilitat en la publicació de butlletins que donen compte de les anomalies tèrmiques més recents, per exemple, pot contribuir a la sensibilització de la població davant del canvi climàtic. D'altra banda, la comunicació adequada de l'evolució del clima a diferents sectors socioeconòmics (com ara l'agrícola i el sanitari) és crucial perquè puguin prendre les mesures adequades, tal com es posa en relleu en els capítols dedicats específicament a aquests àmbits.

L'augment notable de la temperatura dels darrers decennis fa necessària l'actualització de tots els

críters de caràcter tèrmic associats als diferents sectors econòmics, tant si són de tipus temporal (com ara redefinir calendaris) com si es basen en la definició de llindars.

Referències bibliogràfiques

- BAIC 2014 = *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics: Any 2014* (2015) [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Servei Meteorològic de Catalunya. Àrea de Climatologia. Equip de Canvi Climàtic. <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2015/06/05075856/00_BAIC-2014_TOT.pdf> [Consulta: 1 març 2016].
- BEGUERÍA, S.; ANGULO-MARTÍNEZ, M.; VICENTE-SERANO, S. M. [et al.] (2011). «Assessing temporal trends in extreme precipitation by non-stationary peaks-over-threshold analysis, NE Spain 1930-2006». *International Journal of Climatology*, 31, p. 2102-2114.
- BERMEJO, M.; ANCELL, R. (2009). «Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using weather types». *Revista de Climatología*, 9, p. 45-61.
- BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; JONES, P. [et al.] (2008). *A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperatura datasets*. Ginebra: World Meteorological Organization, WCDMP-66 / WMO-TD-1425.
- CORTESI, N.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M. [et al.] (2012). «Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010». *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12, p. 2799-2810.
- CUADRAT, J. M.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; SAZ, M. Á. [et al.] (2013). «Creación de una base de datos homogeneizada de temperaturas para los Pirineos (1950-2010)». *Geographica*, 63-64, p. 63-74.
- ESTEBAN, P.; PROHOM, M.; AGUILAR, E. (2012). «Tendencias recientes e índice de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra (1935-2008)». *Pirineos: Revista de Ecología de Montaña*, 167, p. 89-108.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LUÍS, M. DE [et al.] (2010). «A new tool for monthly precipitation

- analysis in Spain: MOPREDAS data base (monthly precipitation trends December 1945 - November 2005)». *International Journal of Climatology*, 31, p. 715-731.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; PEÑA-ANGULO, D.; BRUNETTI, M. [et al.] (2015). «MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010)». *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4298.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>> [Consulta: 1 març 2016].
- LIONELLO, P. (2012). *The climate of the Mediterranean region: from the past to the future*. Londres: Elsevier Insights.
- LÓPEZ-MORENO, J. I. (2005). «Recent variations of snowpack depth in the Central Spanish Pyrenees». *Artic, Antartic, and Alpine Research*, 37, p. 253-260.
- LUÍS, M. DE; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LONGARES, L. A. [et al.] (2009). «Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of the 20th century». *International Journal of Climatology*, 29, p. 1312-1323.
- MARTÍN-VIDE, J. (2011a) *Estructura temporal fina y patrones espaciales de la precipitación en la España peninsular*. Barcelona: Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.
- (2011b). «Quin tipus de classificació climàtica convé per Catalunya?». *Penell*, 31, p. 17-19.
- MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, C. (2012). «La difícil determinación de la evolución del número de días de tormenta en España. El caso de Barcelona». *Polígonos: Revista de Geografía*, 24, p. 77-94.
- MARTÍNEZ, M. D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. [et al.] (2010). «Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975-2004». *International Journal of Climatology*, 30, p. 267-290.
- OPCC = OBSERVATORI PIRINENC DEL CANVI CLIMÀTIC (2014). *Proyecto OPCC-POCTEFA. Resultados Mayo 2014* [en línia]. <http://www.opcc-ctp.org/images/PROYECTO_OPCC-POCTEFA_2015_ES_BAJA.pdf> [Consulta: 1 març 2016].
- PROHOM, M.; BARRIENDOS, M.; AGUILAR, E. [et al.] (2012). «Recuperación y análisis de la serie de temperatura diaria de Barcelona, 1780-2011». *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, p. 207-217.
- PROHOM, M.; BARRIENDOS, M.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. (2015). «Reconstruction and homogenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian Peninsula (Barcelona, 1786-2014)». *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4537.
- RÍO, S. DE; CANO-ORTÍZ, A.; HERRERO, L. [et al.] (2012). «Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961-2006)». *Theoretical and Applied Climatology*, 109, p. 605-626.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; BRUNETTI, M.; CALBÓ, J. [et al.] (2007). «Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine durations over the Iberian Peninsula from a homogenized data set». *Journal of Geophysical Research*, 112, D20115. DOI: 10.1029/2007JD008677.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; CALBÓ, J.; WILD, M. (2012). «Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain». *Climate of the Past*, 8, p. 1199-1212.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; VICENTE-SERRANO, S. M.; WILD, M. [et al.] (2014). «Evaporation trends in Spain: a comparison of Class A pan and Piché atmometer measurements». *Climate Research*, 61, p. 269-280.
- SERRA, C.; BURGUEÑO, A.; MARTÍNEZ, M. D. [et al.] (2006). «Trends in dry spells across Catalonia (NE Spain) during the second half of the 20th century». *Theoretical and Applied Climatology*, 85, p. 165-183.
- VARGAS-YÁNEZ, M.; SALAT, J.; FERNÁNDEZ DE PUELLES, L. [et al.] (2005). «Trends and time variability in the northern continental shelf of the western Mediterranean». *Journal of Geophysical Research*, 110, C10019. DOI: 10.1029/2004JC002799.

VICENTE-SERRANO, S. M.; AZORÍN-MOLINA, C.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. [et al.] (2014a). «Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanism». *Climatic Dynamics*, 42, p. 2655-2674.

[VICENTE-SERRANO, S. M.; AZORÍN-MOLINA, C.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. [et al.]] (2014b). «Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011». *Global and Planetary Change*, 121, p. 26-40.

5 Projeccions climàtiques i escenaris de futur

Autors

Josep Calbó Angrill

Francisco Doblas-Reyes

María Gonçalves Ageitos

Virginie Guemas

Antoni Barrera Escoda

Jordi Cunillera

Javier García-Serrano

Vicent Altava Ortiz

Josep Calbó Angrill és professor titular del Departament de Física de la Universitat de Girona, llicenciat en ciències físiques per la Universitat de Barcelona i doctor en ciències per la Universitat Politècnica de Catalunya. Ha estat investigador postdoctoral a l'Institut de Tecnologia de Massachusetts (MIT, 1995-1996), i investigador visitant al Laboratori Nacional del Pacífic Nord-oest (Washington, EUA, 2001), a la Universitat de Southern Queensland (Austràlia, 2006), a l'Institut Nacional d'Investigacions de l'Aigua i l'Atmosfera de Nova Zelanda (Austràlia, 2009) i al Centre Hidrometeorològic de la Federació Russa (Moscou, 2014). Ha participat en una trentena de projectes, ha publicat més de cinquanta articles en revistes indexades, ha contribuït a més de cent comunicacions en congressos internacionals, i ha dirigit cinc tesis doctorals. Centra la recerca en la climatologia de la nuvolositat i la insolació, i en l'estudi de la interacció entre núvols, aerosols, i radiació solar.

María Gonçalves Ageitos és doctora en enginyeria ambiental per la Universitat Politècnica de Catalunya, professora del Departament de Projectes d'Enginyeria d'aquesta mateixa universitat i investigadora associada al Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center. Orienta la recerca cap a la modelització del clima a escala regional, i ha contribuït a projectes de generació i anàlisi de

projeccions climàtiques amb alta resolució per a Catalunya i Europa. D'altra banda, s'interessa pels efectes a escala regional de processos relacionats amb els aerosols i la química atmosfèrica. És coautora de catorze articles científics en revistes internacionals de l'àmbit de les ciències de la Terra, i de nombroses comunicacions en l'àmbit del clima regional i la modelització de la qualitat de l'aire en congressos nacionals i internacionals.

Antoni Barrera Escoda és doctor en física per la Universitat de Barcelona, tècnic en canvi climàtic al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) i redactor del blog de l'SMC. Principalment, ha centrat la investigació, d'una banda, en l'anàlisi de la variabilitat natural i la modelització regional dels extrems hídrics (inundacions i sequeres) a Catalunya en els últims 500-700 anys i, de l'altra, en la generació d'escenaris climàtics futurs regionalitzats a elevada resolució espacial per a Catalunya, durant el segle XXI, a partir de tècniques dinàmiques de regionalització. Ha participat i participa en diferents projectes, tant d'àmbit estatal com europeu, sobre variabilitat climàtica, canvi climàtic i desastres naturals d'origen meteorològic a la Mediterrània occidental. Ha publicat més d'una quarantena d'articles relacionats amb aquestes temàtiques en revistes internacionals, nacionals i congressos. Va participar activament en la redacció del capítol 5 del SCCC, de l'any 2010.

Javier García-Serrano és doctor en ciències físiques per la Universitat Complutense de Madrid i investigador H2020-MSCA en el Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center. Durant la seva carrera científica ha treballat en més de dotze projectes nacionals i internacionals, ha publicat vint-i-set articles en revistes indexades i ha realitzat estades en diferents centres d'investigació: Met Office (Anglaterra), KNMI (Holanda), IC3 (Barcelona), AORI (Universitat de Tòquio), LOCEAN/IPSL (Universitat Pierre et Marie Curie, París). Les línies d'investigació s'han centrat en l'estudi de teleconnexions atmosfèriques associades a forçaments oceànics i a anomalies del gel de l'Àrtic, i en l'anàlisi de prediccions estacionals i decennals. És autor col·laborador de l'AR5.

Francisco Doblas-Reyes és doctor en física per la Universitat Complutense de Madrid, professor de recerca ICREA (Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats) i director de l'Àrea de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center. Ha centrat la investigació en el desenvolupament de la predicció climàtica global en escales temporals subestacionals, estacionals i decennals, així com en les aplicacions en diversos camps, cosa que l'ha dut a interessar-se en el nou concepte de serveis climàtics. Ha estat investigador a Météo-France (1997-1999), INTA (1999), ECMWF (2000-2009) i IC3 (2010-2015). Ha participat i participa en més de trenta projectes d'investigació, és membre de diversos comitès internacionals, ha actuat com a autor principal en el capítol 11 de l'AR5 i és autor de més cent articles en revistes indexades.

Virginie Guemas és doctora per la Universitat Paul Sabatier de Tolosa i cap del Grup de Previsió Climàtica, que actualment està format per setze membres, dins el Departament de Ciències de la Terra del Barcelona Supercomputing Center. Ha participat en divuit projectes nacionals i internacionals, col·labora amb disset instituts de recerca, i ha estat convidada a onze esdeveniments diferents: conferències, *workshops* i visites a altres centres. És coautora de trenta-nou articles en revistes indexades, sis dels quals en revistes prestigioses de molt alt impacte, té un índex H de 15, amb 696 citacions, i ha estat autora col·laboradora de l'AR5. L'any 2014 va ser nomenada

membre del Scientific Steering Group del projecte CLIVAR (Climate and Ocean Variability Predictability and Change) de l'Organització Meteorològica Mundial.

Jordi Cunillera fou investigador al Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona (1990-1994), en què obtingué el títol de doctor en ciències físiques. L'any 1994 s'incorporà a la Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya i, posteriorment, al Servei Meteorològic de Catalunya. En aquesta entitat, ara adscrita al Departament de Territori i Sostenibilitat, ha estat cap de l'Àrea de Recerca Aplicada i Modelització (2004-2011) i actualment és cap de l'Equip de Canvi Climàtic. Membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC), participà en la redacció dels informes *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya* (2009) i *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (2010). És autor o coautor de diferents llibres i articles en revistes internacionals i professor convidat del màster europeu en meteorologia (UB) i del màster en climatologia aplicada i mitjans de comunicació (UB).

Vicent Altava Ortiz és doctor en física per la Universitat de Barcelona, tècnic de l'Àrea de Recerca i Modelització del Servei Meteorològic de Catalunya i predictor al Servei de Prevenció d'Incendis Forestals del Departament d'Agricultura. La seva investigació s'ha centrat, principalment, en l'estudi de les seques al nord-est de la península Ibèrica, incloent-hi l'anàlisi de la variabilitat natural al llarg del segle xx i la modelització futura. Recentment, ha desenvolupat estudis sobre la variabilitat climàtica a l'Atlàntic Nord, sobre la predicció per conjunts a mitjà termini a partir de mètodes estadístics de regionalització, i sobre la generació d'escenaris climàtics futurs regionalitzats a elevada resolució espacial a Catalunya durant el segle XXI. Ha participat i participa en diferents projectes, tant d'àmbit estatal com europeu, sobre variabilitat climàtica, canvi climàtic i desastres naturals d'origen meteorològic a la Mediterrània occidental. Ha publicat més d'una desena d'articles relacionats amb aquestes temàtiques en revistes internacionals, nacionals i congressos.

Sumari

Síntesi	116
5.1. Introducció	117
5.2. Projectes recents sobre projeccions climàtiques.....	118
5.2.1. Novetats en l'AR5.....	118
5.2.1.1. El CMIP5.....	118
5.2.1.2. Els nous escenaris RCP	119
5.2.1.3. L'enfocament del <i>near-term</i> (predicció decennal) davant del <i>long-term</i> (projecció climàtica).....	119
5.2.1.4. L'atles de projeccions regionalitzades del CMIP5.....	119
5.2.2. Altres projectes i resultats recents.....	120
5.2.2.1. ESCAT, generació d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya.....	120
5.2.2.2. ESCENA - ESTCENA	120
5.2.2.3. CORDEX - EuroCORDEX.....	121
5.2.2.4. MERCAT	121
5.3. Projeccions climàtiques a Catalunya.....	121
5.3.1. Mètode i dades	121
5.3.2. Resultats.....	123
5.3.3. Discussió	128
5.4. Conclusions	130
5.5. Recomanacions	131
Referències bibliogràfiques.....	131

Síntesi

Aquest capítol del TICCC presenta les projeccions climàtiques per a Catalunya, és a dir, proposa diverses estimacions de canvis en temperatura i precipitació, en un horitzó temporal que va fins a mitjan segle XXI. Amb aquesta finalitat, s'han analitzat, per a la zona geogràfica de Catalunya, els resultats de models climàtics globals inclosos en el recent *Informe d'avaluació* de l'IPCC; però, molt especialment, s'han considerat els resultats de diversos projectes de regionalització que s'han dut a terme, recentment, a escala internacional, estatal i catalana. També s'han tingut en compte, per al futur més immediat, les sortides de les prediccions decennals efectuades amb diversos models globals.

Les projeccions analitzades donen com a resultat un senyal molt robust d'augment de temperatura, a Catalunya, per als pròxims decennis. Aquest augment es manifesta en tots els horitzons temporals, en totes les estacions de l'any i en totes les àrees geogràfiques/climàtiques de Catalunya. Considerant com a representativa la mediana dels diferents valors proporcionats pels diferents projectes de regionalització, l'augment de temperatura podria ser de +0,8 °C en el decenni present, i arribaria a +1,4 °C a mitjan segle XXI, sempre respecte a la

mitjana del període 1971-2000. Els increments podrien ser més elevats durant l'estiu i al Pirineu. La precipitació sembla apuntar cap a una disminució, però amb una tendència més incerta. D'aquesta manera, el canvi seria molt poc significatiu per al decenni present. Cap a mitjan segle XXI, en canvi, el descens de la precipitació seria més marcat, amb medianes de la distribució dels valors particulars donats per cada projecció regional properes al -10 % a la primavera, l'estiu i la tardor. Amb relació a aquesta variable, la regionalització de les simulacions climàtiques és crucial en àrees com Catalunya, ja que l'orografia complexa i la interacció mar-terra queden mal representades en els models globals. En aquest treball s'han emprat, majoritàriament, escenaris d'emissions «moderats» (l'A1B i l'RCP4.5) i, per tant, els valors de canvi futur podrien ser lleugerament superiors als que se sintetitzen aquí, en cas que l'escenari que se seguís en fos un de més «alt» pel que fa a les emissions (l'RCP6 o l'RCP8.5). Tot i això, l'efecte addicional d'un escenari més intensiu en emissions no es produiria d'una manera clara fins a la segona meitat de segle.

Paraules clau

projeccions climàtiques, predicció decennal, escenaris, regionalització

5.1. Introducció

Una projecció climàtica és la resposta simulada del sistema climàtic davant un futur escenari d'emissions o de concentració de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) i aerosols. Aquesta resposta s'obté, habitualment, mitjançant models climàtics, és a dir, models numèrics que representen els diferents elements del sistema climàtic. Les projeccions climàtiques depenen de l'escenari d'emissions (o del forçament radiatiu, és a dir, de l'efecte que les variacions de les concentracions de determinats components de l'atmosfera tenen sobre el balanç energètic de la Terra) que es consideri en la simulació. Aquests escenaris, que poden ser més o menys realistes, depenen, al seu torn, de les hipò-

tesis que s'assumeixin amb relació al desenvolupament socioeconòmic (incloent-hi el demogràfic) i tecnològic futur.

Les projeccions climàtiques són la base per a l'avaluació dels impactes del canvi climàtic futur, i per a la presa de decisions amb relació a les actuacions de mitigació i d'adaptació. Això s'esdevé perquè l'evolució futura de les variables climàtiques (com ara la temperatura, la precipitació, la humitat, el vent, la insolació, etc.) i els fenòmens extrems associats són els que condicionen la sostenibilitat de la major part d'activitats humanes i dels ecosistemes. En conseqüència, és lògic que la major part d'informes i estudis que fan referència al

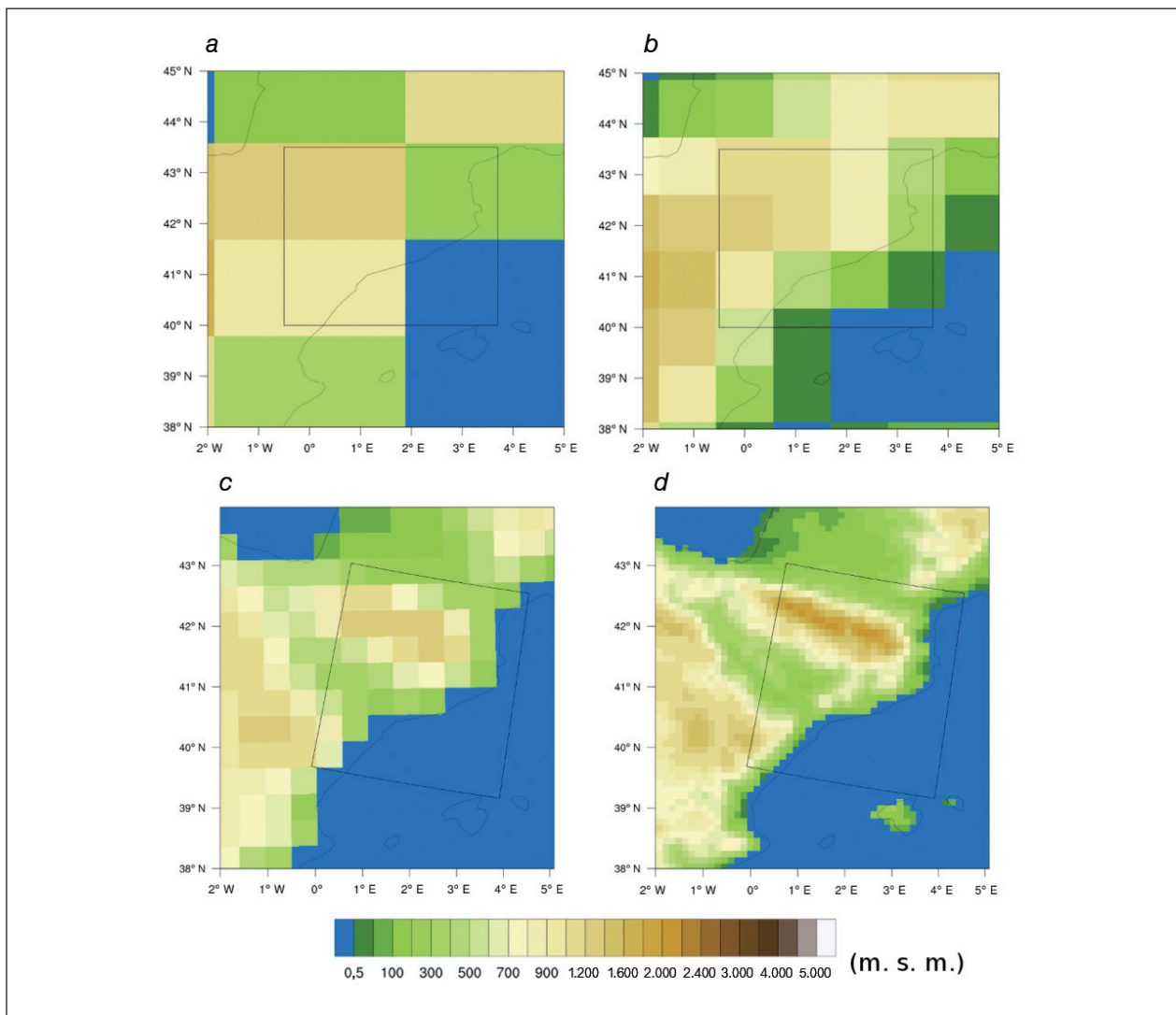


FIGURA 5.1. Topografia del nord-est de la península Ibèrica tal com es representa amb dos models globals participants en el CMIP5: a) l'IPSL-CM5A, a $1,875^\circ \times 3,75^\circ$ de resolució, i b) l'EC-Earth a $1,125^\circ \times 1,125^\circ$ de resolució; així com amb el model regional NMMB/BSC-CTM, configurat d'acord amb les directrius del projecte CORDEX, a c) $0,44^\circ \times 0,44^\circ$ i d) $0,11^\circ \times 0,11^\circ$ de resolució. L'àrea assenyalada es correspon amb el domini definit en aquest estudi per a obtenir els valors mitjans sobre Catalunya (vegeu la figura 5.2).

canvi climàtic comencin analitzant les projeccions climàtiques.

A escala global, les projeccions climàtiques més completes i que es consideren de referència són les que el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) resumeix en els informes periòdics, i que resulten de l'acció coordinada de diversos centres de recerca de tot el món, mitjançant els projectes d'intercomparació de models climàtics (CMIP). Aquestes simulacions, realitzades amb models globals, presenten limitacions pel que fa al detall espacial i, de fet, el *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC (l'AR5) dona resultats a escala global o bé en regions que acostumen a ser subcontinentals, és a dir, amb escales de milers de kilòmetres. Per això institucions d'arreu (de recerca o que tenen responsabilitats en aquest tema) fan esforços de regionalització, és a dir, utilitzen diverses tècniques per a obtenir projeccions climàtiques amb més detall espacial. La figura 5.1 mostra uns quants exemples de la diferència entre la resolució espacial dels models climàtics globals i la dels models aplicats a escala regional, i il·lustra com l'orografia i la definició de la costa depenen de la resolució horitzontal, en particular per a zones altament complexes com és el cas de Catalunya; cal tenir present que precisament el relleu i la costa són els factors fonamentals que expliquen la diversitat de climes a Catalunya (vegeu el capítol 4). Malgrat que les comunitats científiques de modelització de clima global i de ciències de la computació fan esforços per a incrementar la resolució a la qual es poden executar aquests models (amb projectes capdavanters que plantegen resolucions al voltant de 0,25°, uns 25 km a les nostres latituds), a hores d'ara, la regionalització constitueix l'eina principal per tal d'aconseguir l'alt grau de detall espacial necessari per a la presa de decisions i l'avaluació d'impactes a escala regional o local.

L'objectiu d'aquest capítol és presentar projeccions climàtiques per a Catalunya, és a dir, proposar uns valors relatius a la possible variació del clima, partint d'un ampli ventall de projeccions climàtiques disponibles recentment, tant a escala global com regionalitzades. El capítol se centra en les dues variables climàtiques principals (la temperatura i la precipitació), en horitzons temporals que van fins a mitjan segle XXI i en escenaris d'emissions o de

forçament radiatiu moderats, i és una actualització dels capítols corresponents inclosos en el PICCC i el SICCC.

5.2. Projectes recents sobre projeccions climàtiques

En aquest apartat s'expliquen, en primer lloc, les principals diferències en l'enfocament de l'AR5 respecte als informes anteriors de l'IPCC. Després, s'introdueixen diversos projectes de regionalització de les projeccions climàtiques, concretament els que s'han emprat més endavant per a estimar els futurs escenaris climàtics a Catalunya.

5.2.1. Novetats en l'AR5

5.2.1.1. El CMIP5

El protocol per al CMIP5 (Projecte d'intercomparació de models climàtics acoblats, fase 5; vegeu-ne els detalls a Taylor *et al.*, 2012), que ha estat l'exercici de comparació de models climàtics realitzat per a elaborar l'AR5, es va començar a dissenyar en les darreres etapes de l'informe anterior. Les converses entre diferents experts (en els camps, per exemple, de la física del clima, la bioquímica, els impactes, l'adaptació i la modelització) van comportar la divisió de les simulacions del clima futur en *near-term* ('curt termini') i *long-term* ('llarg termini'), tal com s'explicarà més avall. També es va proposar la realització d'experiments de sensibilitat i idealitzats (com, per exemple, l'experiment Aqua-Planet), per tal d'aprofundir en la comprensió de la resposta al forçament radiatiu i del paper que juguen les retroaccions en el sistema climàtic. Tots aquests aspectes del CMIP5 ajuden a interpretar les diferències entre les projeccions de canvi climàtic realitzades pels diversos models.

El CMIP5 també inclou un nou conjunt de forçaments radiatius, amb informació més detallada sobre les concentracions de GEH i aerosols atmosfèrics (vegeu l'apartat següent), així com models de clima més complets i complexos, amb més resolució horitzontal i més abast vertical. En particular, al CMIP5 hi participen diversos models del sistema Terra (ESM), que integren la representació del cicle del carboni mitjançant la simulació de processos biogeoquímics en els factors oceànic i terrestre; els ESM també simulen canvis en la química atmosfèrica i poden predir la formació i el decaïment dels

aerosols. Entre els experiments del CMIP5, cal esmentar els que exploren l'impacte dels forçaments radiatius naturals i antropogènics, la capacitat de reproduir el clima passat, i l'efecte dels núvols i dels processos que inclouen la humitat. D'altra banda, alguns dels models participants arriben a resolucions horitzontals sense precedents a escala global (fins a 0,6° de latitud i longitud en el mòdul de l'atmosfera en el cas del model japonès MIROC4h) i/o amplien l'abast vertical de les simulacions fins més enllà de l'estratopausa (*high-top*).

5.2.1.2. Els nous escenaris RCP

Els escenaris socioeconòmics s'utilitzen en investigació per a proporcionar possibles evolucions futures del clima en condicions tecnològiques i energètiques determinades, suposant canvis dels usos del sòl i de les emissions de GEH i altres contaminants (incloent-hi els aerosols). Com a resultat d'aquests escenaris s'obtenen els diferents forçaments radiatius, els quals constitueixen una peça fonamental per a les projeccions de canvi climàtic. Els escenaris emprats en el *Quart informe d'avaluació* de l'IPCC (AR4) provenien de l'*Informe especial sobre escenaris d'emissions* (SRES, Nakicenovic *et al.*, 2000).

Per al CMIP5, el Programa Mundial de Recerca en Clima (WCRP) va considerar que calia una nova estratègia per als escenaris possibles, de manera que cobrissin un ventall més ampli que el dels escenaris d'emissions possibles previstos en la literatura, i que incorporessin, també, els efectes derivats de possibles polítiques d'adaptació i mitigació. Aquests nous escenaris s'anomenen *trajectòries de concentració representatives* (RCP). Concretament, es van dissenyar quatre trajectòries futures (a partir del gener del 2006), que acaben provocant un forçament radiatiu de 2,6, 4,5, 6 i 8,5 W m⁻² el 2100 respecte al període preindustrial (1850). Cada RCP presenta una evolució temporal de l'emissió i la concentració dels GEH (i dels aerosols, de l'ús del sòl...). Per exemple: per al CO₂, l'escenari RCP8.5 segueix el rang més alt dels previstos en la literatura, amb concentracions que creixen ràpidament; mentre que l'RCP6 i l'RCP4.5 mostren una estabilització de la concentració de CO₂ al voltant de la mediana (dels diversos estudis previs), i l'RCP2.6 té un màxim de concentració de CO₂ cap al 2050, seguit d'una disminució im-

portant fins a tornar a assolir les 400 ppm a final de segle. A Meinshausen *et al.* (2011) es donen més detalls sobre els RCP i sobre l'evolució d'altres GEH.

5.2.1.3. L'enfocament del near-term (predicció decennal) davant del long-term (projecció climàtica)

La predicció decennal és un nou camp dins l'estudi del clima futur que intenta proporcionar informació en l'interval de pocs anys a pocs decennis, cosa que des del punt de vista climàtic representa un horitzó proper (*near-term*). Aquesta proximitat és clau per a la planificació de certs sectors socioeconòmics (com ara el de les assegurances o el de les energies renovables) a l'hora d'afrontar el canvi climàtic. Així, a part de l'interès científic, les prediccions decennals representen, potencialment, un benefici per a la societat per mitjà de millores en els serveis climàtics i en les estratègies d'adaptació. La predicció decennal va ser reconeguda com una part fonamental del CMIP5 (Meehl *et al.*, 2014a).

Les prediccions decennals exploren els beneficis d'inicialitzar els models climàtics acoblats, tal com es fa en la predicció estacional, incorporant-hi l'estat observat del clima (incloent, per exemple, el contingut de calor en les capes superficials de l'oceà). L'objectiu final és millorar la capacitat predictiva respecte al senyal que prové exclusivament del forçament radiatiu, l'enfocament de les anomenades *projeccions climàtiques*, que s'allarguen un segle o més (*long-term*) i que s'inicialitzen amb un estat representatiu de la realitat física, però arbitrari en el sentit que no pretén reproduir exactament l'estat del sistema en el moment de l'inici de la simulació. Malgrat que tant les prediccions decennals com les projeccions climàtiques presentaran, a més de la incertesa estructural o interna dels models, la incertesa associada al factor extern, és a dir, als escenaris futurs d'emissions i concentracions, les primeres pretenen millorar la representació de la variabilitat interna i corregir la resposta en la variabilitat forçada. En el CMIP5, la predicció decennal va utilitzar sempre l'escenari RCP4.5.

5.2.1.4. L'atles de projeccions regionalitzades del CMIP5

A l'AR5 s'inclou una anàlisi complementària de dades a escales subcontinentals, presentada en

forma d'atles, és a dir, gràficament sobre mapes de les diverses àrees considerades (IPCC, 2013). A l'atles s'analitzen els resultats de les simulacions del CMIP5 per a diferents horitzons temporals: proper (2016-2035), mitjà (2046-2065) i llunyà (2081-2100); s'inclouen projeccions per a la temperatura de l'aire en superfície i la precipitació tant a escala anual com estacional, i es consideren els diferents RCP. Aquesta informació es proporciona a escales de milers de kilòmetres i, per tant, no és directament aprofitable per a l'avaluació d'impactes o la presa de decisions a escala local o regional, però permet diferenciar les projeccions sobre grans zones climàtiques, com ara la Mediterrània, que es considera una àrea altament sensible als efectes del canvi climàtic (Giorgi, 2006). Per a aquesta regió, els models del CMIP5 projecten, en conjunt, increments de temperatura, sobretot a l'estiu, i d'una manera més acusada per als RCP més extrems (RCP8.5) i en els horitzons temporals més llunyans. A més a més, en el període d'abril a setembre, les projeccions suggereixen una reducció de la precipitació, tot i que en aquest cas amb una incertesa més gran.

5.2.2. Altres projectes i resultats recents

5.2.2.1. ESCAT, generació d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya

ESCAT és un projecte desenvolupat durant els anys 2011 i 2012 entre el Barcelona Supercomputing Center (BSC) i el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) sobre projeccions climàtiques a la Mediterrània nord-occidental a 10 km de resolució (1971-2050) mitjançant el model mesoescalar WRF-ARW. Per a desenvolupar les simulacions regionalitzades es van definir dos dominis d'integració sobre l'àrea d'interès, un dins de l'altre, amb resolucions de 30 i 10 km, amb interacció unidireccional i evitant discontinuïtats en els relleus orogràfics principals. Es van emprar 33 nivells verticals fins a un cim de l'atmosfera situat a 10 hPa (~ 39 km), per tal de capturar adequadament els fenòmens de transport entre la troposfera i l'estratosfera (Gonçalves *et al.*, 2014). Les simulacions es van realitzar considerant tres escenaris d'emissions diferents: l'A2 (greu), l'A1B (intermedi) i el B1 (moderat), definits a l'SRES; i dues simulacions globals del model de circulació general acoblat atmosfera-oceà ECHAM5/MPI-OM, desenvolupades per la tercera fase del

Projecte d'intercomparació de models climàtics acoblats (CMIP3; vegeu IPCC, 2007). Aquestes simulacions van servir de base per a elaborar l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC), realitzada per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC) a final del 2012.

Prèviament, es va efectuar un exercici d'avaluació del sistema per al període de referència, 1971-2000, realitzant unes simulacions forçades amb reanàlisis meteorològiques. Les reanàlisis es consideren la representació més fiable de les condicions climàtiques presents o passades, ja que s'obtenen mitjançant sistemes de modelització que assimilen dades de tota mena d'observacions, des de dades d'estacions meteorològiques, radiosondatges, boies o satèl·lits, fins a dades de campanyes de mesurament en vaixells o avions. Les simulacions regionals forçades amb reanàlisis de l'ESCAT, tot i subestimar la temperatura (-1,3 °C de mitjana) i sobreestimar la precipitació (+30 % de mitjana), són capaces de reproduir l'evolució interanual de les observacions i capturar-ne els patrons geogràfics per al període 1971-2000 (Gonçalves *et al.*, 2014).

5.2.2.2. ESCENA - ESTCENA

En el marc del Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic (PNACC), impulsat pel Govern de l'Estat espanyol, s'han elaborat una sèrie de projeccions regionalitzades de canvi climàtic. Aquestes projeccions pretenen proporcionar informació detallada sobre les estimacions del clima futur. Concretament, en aquest estudi s'han considerat resultats de dos projectes finançats pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient: el projecte ESCENA, de regionalització dinàmica, i el projecte ESTCENA, de regionalització estadística. En tots aquests projectes s'han utilitzat les sortides de fins a quatre models globals (ECHAM5, HadCM3, CNRM-CM3, BCM2) que van participar en el CMIP3. En el projecte ESCENA, aquests models globals s'han combinat amb quatre models climàtics regionals (PROMES, MM5, dues versions de WRF i REMO), mentre que en el projecte ESTCENA s'han emprat diverses tècniques estadístiques, entre les quals mètodes d'anàlegs, de regressió a partir de components principals i altres tècniques basades en tipus de temps. Els resultats estan disponibles a resolució diària i mensual, sobre una malla de 0,2° de latitud i longitud, i, en

alguns casos, per a llocs puntuals concrets (estacions meteorològiques).

5.2.2.3. CORDEX - EuroCORDEX

CORDEX (Giorgi *et al.*, 2009) és una iniciativa promoguda pel WCRP per a generar projeccions climàtiques regionals per a totes les regions terrestres del món, entre les quals Europa i la Mediterrània. En particular, l'EuroCORDEX proveeix projeccions amb alta resolució per a Europa, fins als 0,11° (~ 12 km), a partir de les simulacions globals del CMIP5. Aquesta informació constitueix una eina valuosa per a l'anàlisi d'impactes del canvi climàtic i la definició d'estratègies de mitigació i adaptació. L'EuroCORDEX considera diferents escenaris RCP (Moss *et al.*, 2008) fins a l'horitzó temporal del 2100, i totes les dades generades estan disponibles en accés obert.

Les primeres avaluacions dels models integrants de l'EuroCORDEX (Kotlarski *et al.*, 2014) indiquen que són capaços de capturar els trets bàsics del clima europeu per al període 1989-2008, incloent-hi la variabilitat espacial i temporal, quan aquests models regionals són forçats amb dades de reanàlisis. En general, per a aquest període d'avaluació, els models presenten biaixos per sota d'1,5 °C per a la temperatura de l'aire en superfície i entre el ± 40 % per a la precipitació, amb un comportament particularment càlid i sec per al sud d'Europa. Aquests biaixos són del mateix ordre de magnitud que els que ja es van detectar en projectes anteriors, com l'ENSEMBLES (Linden *et al.*, 2009), encara que s'ha millorat una mica el biaix càlid al sud d'Europa.

5.2.2.4. MERCAT

Aquest projecte va obtenir projeccions regionalitzades al nord-est de la península Ibèrica a 4 km de resolució (1948-2100), a partir d'un mètode estadístic de regionalització desenvolupat en la tesi doctoral d'Altava-Ortiz (2010). Aquest mètode es basa en la tècnica dels anàlegs meteorològics aplicada a una simulació global del model de circulació general acoblat atmosfera-oceà ECHAM5/MPI-OM del CMIP3 i té en compte tres escenaris d'emissions diferents de l'SRES (2000): l'A2, l'A1B i el B1. La metodologia mostra habilitat per a reproduir les anomalies anuals de la precipitació durant el període 1948-2002 quan s'aplica sobre camps

predictors provinents de reanàlisis. Aplicada sobre el model climàtic, simula correctament el cicle anual de la precipitació a gairebé tot el domini d'estudi, si bé hi ha una subestimació general durant la meitat càlida de l'any (maig-octubre), sobretot en zones de muntanya i del litoral.

5.3. Projeccions climàtiques a Catalunya

5.3.1. Mètode i dades

Per a obtenir projeccions climàtiques per a Catalunya que permetessin distingir entre les grans zones climàtiques del país, en aquest estudi s'han tingut en compte els resultats dels projectes comentats anteriorment. S'ha considerat, doncs, una aproximació per conjunts, encara que s'ha defugit l'aplicació rigorosa d'aquesta metodologia, ja que s'han combinat resultats corresponents a tècniques de regionalització diferents i a escenaris també diferents. Per tal d'emmarcar els resultats obtinguts, provinents dels projectes de regionalització, a una escala detallada, també es donen els resultats d'algunes simulacions globals (projeccions i prediccions decennals) sense regionalitzar, considerant, només, les cel·les que cobreixen Catalunya.

A la taula 5.1 es resumeixen les característiques principals i els detalls dels projectes inclosos en el nostre estudi. En primer lloc, es proporciona el tipus de model o mètode de regionalització, i es pot observar que s'involucren resultats de models climàtics globals (GCM) directament, però sobretot de regionalització amb tècniques dinàmiques o estadístiques. En segon lloc, s'indica quin escenari d'emissions o forçament s'ha considerat, i hom veu que s'ha optat pels escenaris moderats (és a dir, l'A1B i l'RCP4.5), però també hi ha algun resultat amb escenaris més baixos i més alts d'emissions (el B1 i l'A2). Pel que fa a la resolució espacial, la malla és de més d'1° de latitud i longitud per als models globals, però molt més fina, és a dir, de menys de 0,2° (~ 20 km) per a tots els projectes de regionalització inclosos. En la quarta columna s'informa de quants resultats s'han considerat en cada cas, és a dir, de quants «membres» entren en l'estadística a partir de la qual s'obtidran els resultats, així com de quants models globals intervenen en cada projecte. Finalment, s'indica si els resultats es podran donar només per a tot Catalunya (CAT)

TAULA 5.1. Descripció dels projectes inclosos en l'estudi

Projecte / Base de dades	Mètode	Escenari(s)	Resolució	Membres (models)	2012-2021	2031-2050
ESCAT / MERCAT	R. dinàmica / R. estadística	B1, A1B, A2	10 km (0,1°) 0,04° lat.-long.	6 (1) 3 (1)	CAT/3SR	CAT/3SR
ESCENA / ESTCENA	R. dinàmica / R. estadística	A1B	0,2° lat.-long.	11 (3) 15/16 (4)	CAT/3SR	CAT/3SR
CORDEX / EuroCORDEX	R. dinàmica	RCP4.5	0,11° lat.-long.	10 (4)	CAT/3SR	CAT/3SR
CMIP5	GCM	RCP4.5	> 1° lat.-long.	15 (4)	CAT	CAT
DCPP	GCM amb inicialització	RCP4.5	> 1° lat.-long.	37 (6)	CAT	—

o distingint les tres subregions climàtiques (3SR) que es descriuen a continuació.

En efecte, la zona d'estudi s'ha centrat en Catalunya, i ha considerat una caixa definida pels punts amb longituds compreses entre 0° i 3,5° E, i latituds entre 40,5° i 43° N. Dins d'aquesta zona, s'han definit tres subregions principals: Pirineu, Interior i Litoral-Prelitoral, que donen compte de les tres àrees climàtiques principals en les quals es pot dividir el territori. La figura 5.2 mostra aquestes tres subregions i les coordenades que les delimiten sobre un mapa de Catalunya. Pel que fa als horitzons temporals, se n'ha considerat un d'immediat (2012-2021, per al qual hi ha disponibles els resultats de les prediccions decennals) i un de mitjà termini (2031-2050), és a dir, cap a la meitat d'aquest segle. S'ha descartat avaluar les projeccions a final de segle, atès l'objectiu del TICCC, el qual ha de servir per a definir o matisar polítiques, que difícilment assoliran horitzons tan allunyats.

En tots els casos, com a valor representatiu dels diversos valors específics facilitats pels diversos membres que intervenen en un resultat (és a dir, els models globals, d'una banda, i tots els projectes de regionalització, de l'altra), es proporciona la mediana (és a dir, el percentil 50) del conjunt. En alguns casos, es presentaran, a més a més, els valors individuals de cada membre del conjunt, o es donaran, també, els valors dels percentils 5 i 95 com a representatius de l'interval de valors

esperables per als futurs canvis de temperatura i precipitació i, per tant, com a indicadors, en part, de la incertesa associada. També en tots els casos, els canvis en el clima futur es presentaran respecte al valor mitjà simulat per al període 1971-2000; d'aquesta manera, es considera que el canvi s'avalua més bé, ja que es redueix l'efecte dels errors sistemàtics dels models o de les imperfeccions en la resposta al forçament radiatiu present. Si es tracta de temperatura, es donen les diferències respecte a aquest període; si es tracta de precipitació, es donen les diferències relatives, és a dir, en percentatge, respecte a la mitjana climàtica del període 1971-2000 calculada amb la sortida de cada model. A més de les estimacions per al conjunt de tot l'any, es donen, també, els canvis d'aquestes variables per a les quatre estacions, definides com a hivern (desembre, gener i febrer), primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost) i tardor (setembre, octubre i novembre). En el cas dels projectes ESCENA i ESTCENA, la temperatura s'ha obtingut com a mitjana de les temperatures màxima i mínima, que són les que estan disponibles.

En el cas dels models globals considerats, com ja s'ha esmentat, la malla és superior a 1° x 1° (longitud i latitud), cosa que comporta una gran incertesa en el càlcul de les prediccions o projeccions per a Catalunya, ja que aquesta zona és representada per molts pocs punts de la malla. Concretament, la resolució de cada model global és: ~ 3° x 3°

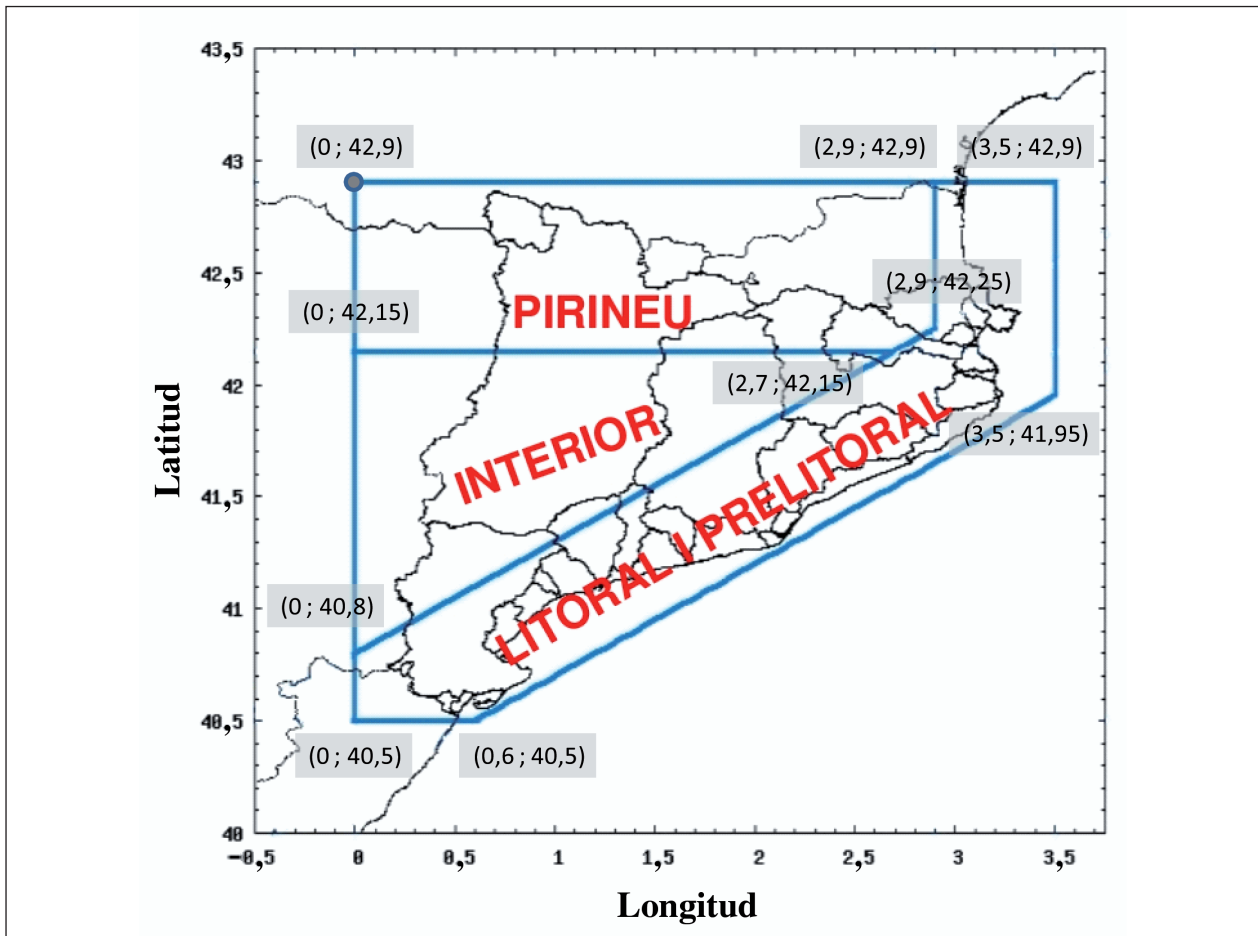


FIGURA 5.2. Zonificació aplicada a les simulacions regionalitzades analitzades en aquest treball. Les divisions donen compte de les tres àrees climàtiques principals en les quals es pot dividir el territori. Els contorns que es representen dins de Catalunya són les conques hidrològiques principals.

en CanCM4, $\sim 1^\circ \times 1^\circ$ en EC-EARTH2.3 i MRI-CGCM3, $\sim 2,5^\circ \times 2^\circ$ en GFDL-CM2.1, $\sim 4^\circ \times 2^\circ$ en IPSL-CM5A-LR i $\sim 2^\circ \times 2^\circ$ en MPI-ESM-LR. Per tal d'estimar d'una manera més homogènia i precisa els valors sobre la zona d'interès, primer s'ha realitzat una interpolació de totes les variables sobre una malla comuna de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

5.3.2. Resultats

Per tal d'emmarcar convenientment els resultats regionalitzats, primer es comenten els resultats relatius als canvis de temperatura i precipitació que s'extreuen directament d'algunes simulacions globals, forçades sempre amb l'escenari RCP4.5. Concretament, es tracta de la combinació de quinze experiments (anomenats *realitzacions* o *members*) obtinguts amb quatre dels models globals esmentats més amunt. En la taula 5.2 es proporcionen les medianes i els percentils 5 i 95 dels canvis projectats, relatius al període 1971-2000, per als

dos horitzons temporals, mentre que a la figura 5.3 es representen tots els valors individuals de les projeccions i es destaca el valor representatiu (mediana) per a cada variable i període. D'acord amb aquests resultats, per al decenni actual (2012-2021) la temperatura podria augmentar a Catalunya, pel que fa a la mitjana anual, entre 0,3 i 1°C , mentre que a mitjan segle (2031-2050) l'augment es trobaria entre 0,9 i $1,9^\circ\text{C}$, sempre respecte als valors del període 1971-2000. Els augments de temperatura serien més importants a l'estiu i més moderats a la primavera. La precipitació anual es mantindria inalterada, o fins i tot augmentaria molt lleugerament en el decenni present (+2,8%, mediana corresponent al període anual), tot i que cal dir que l'interval de valors simulats és molt més ampli per a aquesta variable, fet que indica una incertesa associada més gran. Tant per a l'horitzó immediat com per al de mitjan segle, les projeccions indiquen una disminució clara de la precipitació estival,

TAULA 5.2. Resum dels resultats dels models del CMIP5 considerats

	Període 2012-2021 (respecte a 1971-2000)				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
ΔT (°C)	0,6 (0,2/1,2)	0,5 (0,1/0,9)	0,9 (0,5/1,5)	0,7 (0,5/1,5)	0,7 (0,5/1,1)
ΔPPT (%)	2,4 (-15,2/20,8)	12,7 (-13,6/17,8)	-10,5 (-26,8/14,2)	2,9 (-21,3/16,2)	2,8 (-9,8/8,7)
	Període 2031-2050 (respecte a 1971-2000)				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
ΔT (°C)	1,3 (0,7/2,1)	0,9 (0,7/1,8)	1,6 (1,1/2,5)	1,4 (1,0/2,2)	1,3 (1,0/2,2)
ΔPPT (%)	6,6 (-13,8/18,6)	0,7 (-14,7/9,2)	-12,3 (-24,8/9,5)	0,7 (-11,0/13,3)	-0,1 (-12,6/8,0)

que queda compensada, però, per augments a les altres estacions.

Continuant amb la visió que ofereixen els models globals, tot seguit es presenten els resultats de les prediccions decennals inicialitzades el 2012. Lògicament, aquests resultats estan disponibles només per al decenni present (2012-2021) i corresponen a trenta-sis realitzacions dutes a terme amb sis models globals diferents (els quatre que s'han emprat per a les projeccions, a més dels models CanCM4 i GFDL-CM2.1). Segons aquestes prediccions, la temperatura podria augmentar entre 0,3 i 1,4 °C, respecte a la mitjana del període de 1971-2000, amb un increment clarament més

acusat durant l'estiu. Aquest comportament està plenament d'acord (encara que els valors són lleugerament superiors) amb el de les projeccions globals. En canvi, la tècnica de la predicció decenal proporciona resultats una mica diferents pel que fa a la precipitació. Així, aquestes prediccions (taula 5.3) apunten cap a petites disminucions de la precipitació, disminucions que s'estenen per totes les estacions i que són més acusades durant la tardor (i no pas a l'estiu). És cert que les diferents realitzacions presenten un espectre ampli de resultats (entre -10,5 i +5,4 %, p5 i p95 respectivament) per al període anual, per exemple, però sempre dominen els valors negatius, i els de la tardor són els més destacables.

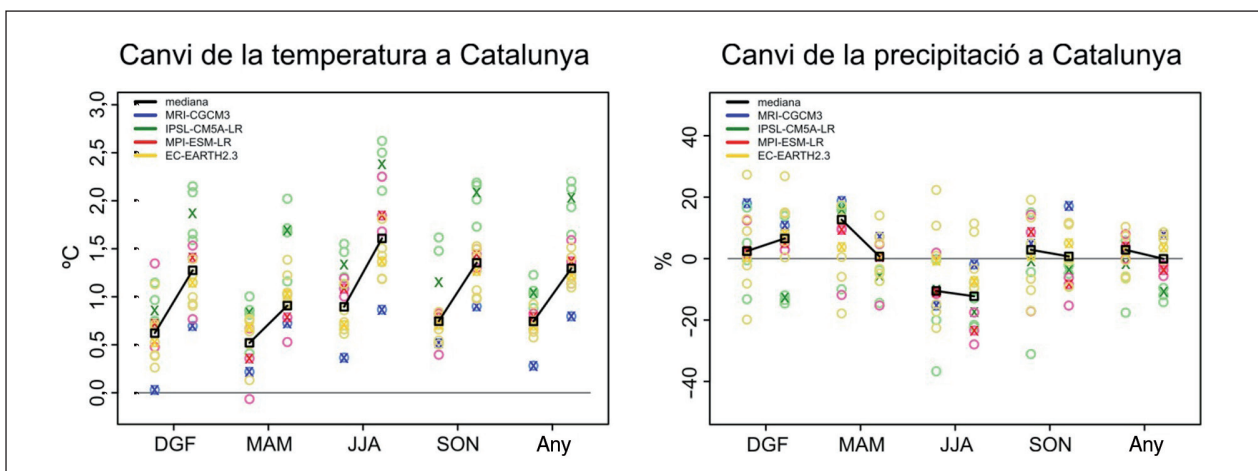


FIGURA 5.3. Variacions de temperatura (a l'esquerra) i de precipitació (a la dreta) per a Catalunya, com a resultat de les simulacions de diversos models globals i prenent com a referència el període 1971-2000. Cada conjunt de punts representa tots els membres que s'han considerat i el quadrat negre és el valor de la mediana. Per a cada període estacional o anual hi ha dos conjunts de punts que corresponen a l'horitzó 2012-2021 (punts a l'esquerra de cada parell de conjunts) i al 2031-2050 (punts a la dreta).

Taula 5.3. Resum dels resultats de les prediccions decennals

	Període 2012-2021 (respecte a 1971-2000)				
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any
ΔT (°C)	0,7 (0,3/1,3)	0,7 (0,2/1,4)	1,2 (0,6/2,1)	0,9 (0,3/1,4)	0,9 (0,3/1,4)
ΔPPT (%)	-1,3 (-14,9/20,0)	-1,9 (-14,8/14,9)	-2,5 (-21,7/17,7)	-4,9 (-17,2/5,6)	-1,5 (-10,5/5,4)

Encara per al període del decenni present, la taula 5.4 resumeix els resultats dels diversos projectes de regionalització de les projeccions climàtiques, tal com s'ha explicat en els apartats anteriors. En primer lloc, i considerant els resultats per a tot Catalunya, s'observa que l'augment de temperatura projectat (mediana de 0,8 °C) és, de nou, molt similar al que indiquen directament els models globals (bé siguin les projeccions o bé siguin les prediccions decennals). També es manifesta, encara que d'una manera menys marcada, un augment més elevat a l'estiu que a la resta d'estacions de l'any. Pel que fa a la precipitació, els resultats de les projeccions regionalitzades s'assemblen més als de les prediccions decennals que als de les projeccions globals. Així, anualment hi hauria una petita reducció de la precipitació (-2,4 % de mediana),

que seria més marcada a la tardor, mentre que a l'hivern hi podria haver, fins i tot, un petit augment.

El comportament general per a Catalunya es veu reproduït amb poques particularitats a les tres àrees o subregions que s'han analitzat. Així, les diferències entre les medianes dels augments de temperatura no són mai superiors a una dècima de grau. Semblantment, a les subregions Pirineu i Interior la precipitació es comportaria d'una manera qualitativament igual que al conjunt de Catalunya (petits augments a l'hivern i disminucions a la resta d'estacions), mentre que a la subregió Litoral/Prelitoral sí que hi hauria un comportament singular: disminucions relativament importants de la precipitació (per damunt del -5 %) en totes les estacions menys a l'estiu. S'ha de recordar, però,

Taula 5.4. Resum dels resultats de les projeccions regionalitzades per al període 2012-2021 respecte de les mitjanes del període 1971-2000

		Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Anual
Litoral/ Prelitoral	ΔT (°C)	0,6 (0,0/1,2)	0,7 (0,2/1,3)	0,9 (0,4/1,3)	0,8 (0,4/1,2)	0,7 (0,5/1,0)
	ΔPPT (%)	-5,4 (-26,7/17,6)	-6,4 (-28,9/18,4)	-1,9 (-21,8/15,8)	-7,9 (-27,6/23,4)	-2,4 (-20,7/6,0)
Interior	ΔT (°C)	0,6 (0,1/1,1)	0,8 (0,2/1,4)	0,9 (0,5/1,5)	0,8 (0,4/1,2)	0,7 (0,5/1,0)
	ΔPPT (%)	2,3 (-17,7/24,2)	-5,9 (-26,4/25,2)	-1,6 (-20,2/13,1)	-4,3 (-25,9/26,0)	0,7 (-14,1/8,0)
Pirineu	ΔT (°C)	0,7 (0,0/1,2)	0,8 (0,2/1,5)	0,9 (0,5/1,5)	0,7 (0,4/1,3)	0,8 (0,5/1,1)
	ΔPPT (%)	2,7 (-14,2/32,6)	-0,8 (-22,9/16,9)	-2,5 (-16,8/11,9)	-2,7 (-23,1/15,8)	-0,2 (-7,8/8,0)
Catalunya	ΔT (°C)	0,7 (0,0/1,3)	0,7 (0,2/1,3)	0,9 (0,5/1,4)	0,8 (0,4/1,2)	0,8 (0,5/1,0)
	ΔPPT (%)	2,2 (-16,4/22,3)	-4,6 (-24,4/17,9)	-3,0 (-16,3/13,0)	-5,2 (-22,6/21,4)	-2,4 (-13,4/5,8)

que l'interval de projeccions del canvi de precipitació és sempre força ampli, incloent-hi valors negatius i positius.

Per a l'horitzó temporal de mitjan segle (2031-2050), les projeccions regionalitzades (taula 5.5) indiquen que la temperatura podria augmentar, de mitjana per al conjunt de Catalunya i prenent com a referència el període 1971-2000, entre 0,9 i 2 °C, amb un valor representatiu (mediana) d'1,4 °C. Aquests valors són molt similars als que s'obtenen dels models globals directament. Analitzant-ho estacionalment, els augments més elevats correspondrien a l'estiu i a la tardor en totes tres subregions. Pel que fa a les subregions, el Pirineu presentaria augments de temperatura algunes dècimes per damunt de la mitjana de Catalunya en totes les estacions. Precisament, el valor màxim dels que apareixen a la taula 5.5 (2,8 °C) és el del percentil 95 per a l'estiu a l'àrea del Pirineu.

Pel que fa a la precipitació, també per a mitjan segle i també referida a la mitjana del període 1971-2000, les projeccions regionalitzades indiquen un clar descens. En efecte, per al conjunt de Catalunya i per a tot l'any, l'interval de projeccions (p5, -22 %; p95, -0,7 %) comprèn només valors negatius, i la mediana és de -6,8 %. Aquest consens pel que fa al signe del canvi projectat se se-

para bastant del que indicaven els models globals. A més, estacionalment les projeccions regionalitzades indiquen, majoritàriament, disminucions importants (de prop del -10 %) per a totes les estacions excepte per a l'hivern, mentre que per a les projeccions globals només a l'estiu s'observaven disminucions generalitzades. Igual que per a l'horitzó proper, l'anàlisi de les subregions indica que és al Litoral/Prelitoral on la disminució de precipitació seria més important (fins i tot a l'hivern, la mediana, per a aquesta àrea, és de -6 %). Només a la tardor, la disminució és força homogènia a tot el territori de Catalunya (de prop del -9 %). Aquest darrer resultat crida l'atenció, atès que, almenys al litoral, es podria haver esperat un augment de la precipitació convectiva a causa de l'increment de la temperatura del mar.

La figura 5.4 representa l'evolució de les dues variables analitzades (temperatura i precipitació), durant el període de referència (1971-2000) i durant el període 2012-2050, per als quals s'han examinat els resultats de les projeccions regionalitzades. També hi són representades les evolucions de les mitjanes de la temperatura i la precipitació observades, valors que s'han calculat a partir d'un conjunt important d'estacions meteorològiques que cobreixen homogèniament tot Catalunya (SMC, 2015). S'observa, doncs, que la temperatura ha anat augmentant i continuarà augmentant gradual-

TAULA 5.5. Resum dels resultats de les projeccions regionalitzades per al període 2031-2050 respecte de les mitjanes del període 1971-2000

		Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Anual
Litoral/ Prelitoral	ΔT (°C)	1,2 (0,8/1,9)	1,2 (0,5/2,2)	1,8 (0,7/2,5)	1,7 (0,6/2,1)	1,4 (0,9/2,0)
	ΔPPT (%)	-6,0 (-40,2/35,7)	-12,0 (-37,5/6,9)	-11,7 (-33,8/11,7)	-9,1 (-30,2/11,5)	-8,3 (-27,1/2,3)
Interior	ΔT (°C)	1,2 (0,8/1,9)	1,2 (0,4/2,3)	1,9 (0,7/2,7)	1,7 (0,8/2,2)	1,4 (0,9/2,1)
	ΔPPT (%)	-1,1 (-30,9/42,0)	-11,5 (-32,2/6,4)	-9,9 (-28,1/11,5)	-8,9 (-27,5/11,0)	-6,5 (-23,7/1,4)
Pirineu	ΔT (°C)	1,4 (0,9/2,1)	1,4 (0,6/2,5)	1,9 (0,6/2,8)	1,8 (0,8/2,3)	1,6 (0,9/2,2)
	ΔPPT (%)	-1,8 (-11,0/22,5)	-8,4 (-24,4/5,8)	-9,0 (-24,3/8,2)	-9,3 (-25,4/0,7)	-5,3 (-16,1/-1,2)
Catalunya	ΔT (°C)	1,3 (0,8/2,1)	1,2 (0,5/2,4)	1,8 (0,7/2,6)	1,7 (0,7/2,2)	1,4 (0,9/2,0)
	ΔPPT (%)	-3,8 (-28,2/20,7)	-10,7 (-31,4/4,0)	-10,2 (-28,1/9,8)	-9,4 (-27,5/4,7)	-6,8 (-22,0/-0,7)

ment, mentre que la precipitació, deixant de banda la gran variabilitat interanual, es va mantenir gairebé constant en el període de referència i presenta una disminució futura molt menys evident. En el cas de la precipitació, a més a més, l'interval de valors compresos entre els percentils 5 i 95 inclou, sempre, valors positius i negatius, fet que és indicatiu de la incertesa que acompanya la projecció d'aquesta variable. Cal dir que aquests percentils s'han calculat amb els valors corresponents a cada any, mentre que els que es proporcionen en les taules s'han calculat per a les variacions corresponents a les mitjanes de cada període. Per això els darrers mostren intervals més estrets que els anteriors. S'ha de comentar, també, que les observacions cauen majoritàriament dins de l'inter-

val de variabilitat interanual mostrat pels percentils 5 i 95 del conjunt de simulacions regionalitzades analitzades, amb la qual cosa es pot afirmar que aquestes simulacions són capaces de reproduir la tendència temporal de les observacions de temperatura i precipitació per al període 1971-2014.

La temperatura i la precipitació són les variables climàtiques fonamentals, però n'hi ha d'altres que també poden ser interessants per a avaluar, per exemple, els impactes del canvi climàtic sobre la salut o sobre el sector energètic. Així, doncs, amb relació a la velocitat del vent i analitzant les dades del projecte ESCAT, Gonçalves *et al.* (2015) van concloure que les projeccions de la velocitat mitjana del vent (a 10 i 60 m de la superfície) per al

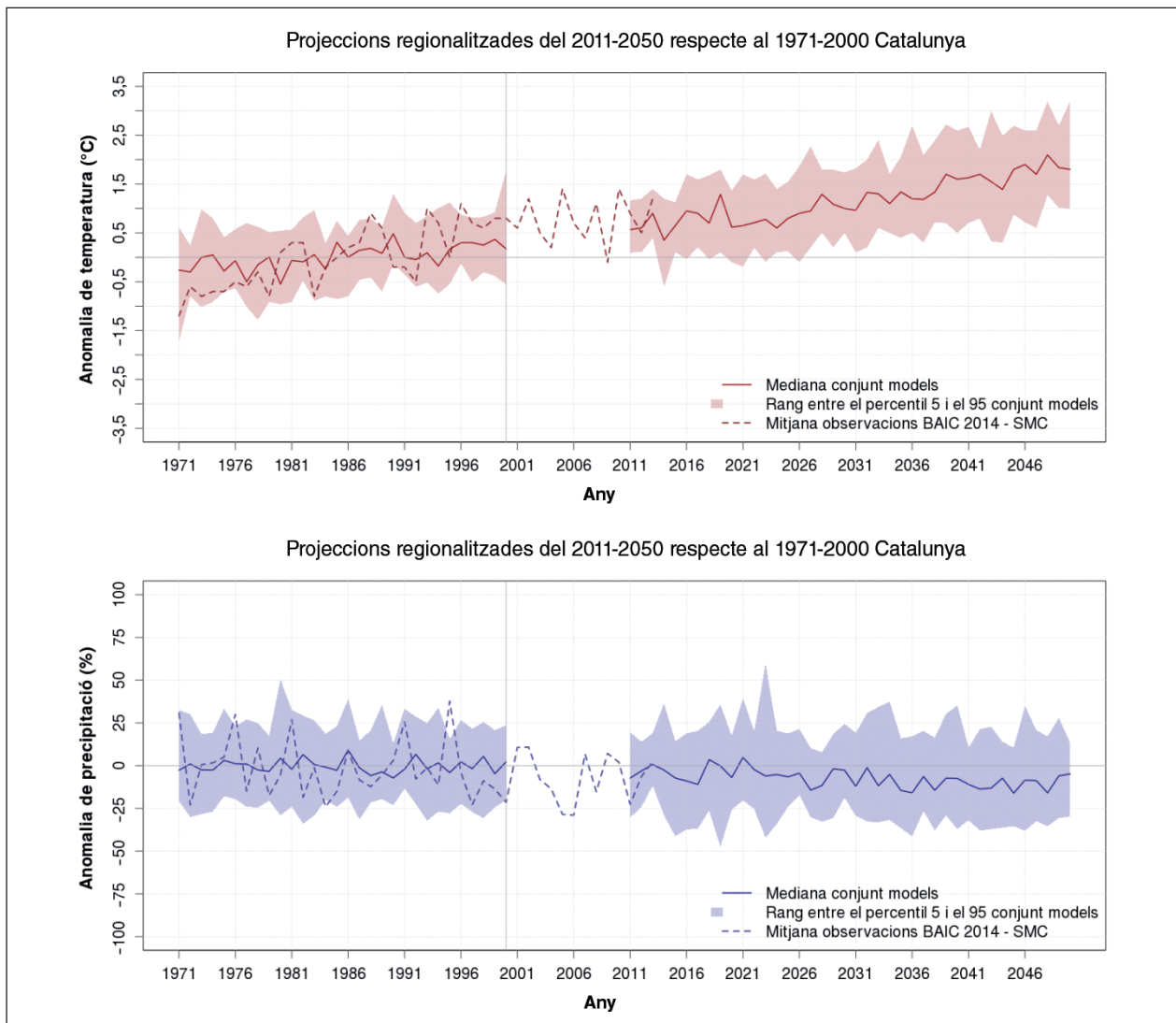


FIGURA 5.4. Variacions de temperatura (a dalt) i de precipitació (a baix) per a Catalunya, com a resultat dels projectes de regionalització considerats. Es mostra el període de referència (1971-2000) i el que va des de just abans de l'inici del primer horitzó considerat (2011) fins al final del segon (2050). La línia fosca representa la mediana, any a any, mentre que l'ombrejat és limitat pels percentils 5 i 95. La línia discontinua representa els valors observats, extrets del BAIC 2014 (2015).

període 2031-2050 apunten cap a una disminució de la intensitat per al conjunt del nord-est de la península Ibèrica, però sobretot a les zones muntanyoses com el Pirineu o el sistema Ibèric. De fet, tots els projectes esmentats proporcionen sortides de variables com ara el vent, la humitat, la nuvolositat, la radiació solar, la pressió, etc. El lector es pot dirigir directament als llocs web d'aquests projectes si està interessat en alguna d'aquestes altres variables, que sovint estan disponibles públicament.

Una altra qüestió és la dels valors extrems de les variables climàtiques. Aquest tema serà tractat amb profunditat al capítol 6 d'aquest TICCC. Aquí només es presenta un breu resum dels resultats del projecte ESCAT que es va publicar a Barrera-Escoda *et al.* (2014). Concretament, aquest treball conclou que es projecta un augment notable de les temperatures màximes (T_x) i mínimes (T_n) diàries, de fins a $3,5\text{ °C}$ i $1,5\text{ °C}$ cap al 2050, respectivament. S'espera que el nombre de mesos càlids augmenti d'una manera considerable durant els propers quaranta anys, però la freqüència d'ocurrència dels mesos molt freds seria semblant a l'observada en el període de referència (1971-2000). També augmentaria considerablement el nombre de nits tropicals ($T_n \geq 20\text{ °C}$) a la zona litoral i prelitoral, mentre que els dies de glaçada ($T_n \leq 0\text{ °C}$) es reduirien notablement a l'alta muntanya. La probabilitat d'ocurrència dels episodis de pluja diària de més de 200 mm en 24 h per al període 2021-2050 es doblaria respecte al període 1971-2000, i la probabilitat dels episodis superiors als 500 mm en 24 h, deixaria de ser nul·la (que és el que indiquen les observacions fins al present). En aquest sentit, és important esmentar que una disminució de la precipitació mitjana no és incompatible amb un augment en la freqüència d'episodis de pluja torrencial. D'altra banda, la durada de les sequeres podria augmentar significativament, tenint en compte la combinació de l'augment projectat per a la temperatura i la disminució de la precipitació, de manera que la longitud dels períodes secs s'allargaria uns 10 dies en valor mitjà cap al 2050 (el valor mitjà dels períodes secs per al conjunt de Catalunya en el període de referència 1971-2000 és de 30 dies). A més, segons Altava-Ortiz (2010) les projeccions indiquen, també, un augment de la gravetat i l'ocurrència de les sequeres, sobretot a partir de mitjan segle XXI.

5.3.3. Discussió

De la descripció dels resultats efectuada en l'apartat anterior es desprèn que, majoritàriament, els diversos models globals (incloent-hi l'ús per a realitzar prediccions decennals, en el cas de l'horitzó immediat) i les projeccions a partir de tècniques de regionalització ofereixen resultats força semblants si s'exceptuen algunes diferències en els canvis de la precipitació entre els models globals i els regionals. Els resultats s'han presentat combinant les projeccions de diferents models climàtics, malgrat que aquesta fusió de resultats és un aspecte científic que encara es debat i davant el qual normalment s'opta per una combinació en la qual tots els models tenen el mateix pes. En realitat, fins ara no existeix cap solució per a la combinació de resultats procedents de models globals, d'una banda, i de models regionals, de l'altra, i per això en aquest capítol s'han presentat en taules i figures diferents, encara que s'hagin comentat quasi simultàniament.

Cal dir que tots els models utilitzats per a les prediccions i les projeccions del clima futur, tant els models globals com els regionals, presenten errors sistemàtics. Aquests errors sistemàtics es manifesten quan es comparen les simulacions del clima present amb les millors observacions disponibles, i són el símptoma de les limitacions de la modelització del clima: la simplificació de processos complexos, la falta de comprensió d'alguns processos rellevants, la resolució espacial i temporal inadequada, etc. El fet que hi hagi processos que inevitablement es representen d'una manera inadequada, o que ni tan sols són inclosos en els models, limita la credibilitat dels resultats. Per exemple, la reproducció de les característiques de la cèl·lula de Hadley és diferent en diversos models globals a causa de les diverses aproximacions emprades, com també ho és el tractament de la convecció mesoescalar. Reconeixent que la solució s'ha de trobar en l'interval de solucions aportades pels diferents models disponibles, la comunitat científica ha adoptat l'aproximació multimodel (és a dir, l'ús combinat dels resultats de diverses simulacions), la hipòtesi principal de la qual consisteix a suposar que es poden amitjanar els resultats de diferents models i realitzacions amb l'objectiu de donar més robustesa a les projeccions. No obstant això, hi ha processos que no s'inclouen en cap dels models

globals, com ara les brises a la zona litoral, la qual cosa s'ha de tenir present a l'hora d'interpretar les projeccions d'aquesta regió.

A més a més de la incertesa que prové dels errors sistemàtics dels models, de la resolució emprada i dels escenaris de forçament radiatiu (RCP), hi ha una incertesa inherent al sistema que s'ha de tenir en compte per a la comunicació de les prediccions i les projeccions de canvi climàtic, sobretot a escala regional. Aquesta incertesa s'associa a la variabilitat interna (és a dir, la pròpia del sistema climàtic, no la que sorgeix a conseqüència dels forçaments externs), i en particular a la variabilitat interna de l'atmosfera extratropical, l'impacte de la qual és notable en el sector euroatlàntic i a Catalunya. Els models regionals hereten les incerteses associades a la circulació atmosfèrica i, per tant, no resolen aquesta limitació. Aquesta consideració no treu valor als resultats mostrats aquí o en l'AR5, sinó que els complementa, en el sentit que cal tenir-la present quan hom parla de la *predictibilitat* o de l'*atribució* del canvi climàtic.

Com s'ha anat dient, l'ús de l'aproximació multimodel proporciona l'estimació més robusta de la capacitat que tenen els models de representar, simular i predir la variabilitat climàtica observada. Per exemple, aquest és el cas de la variabilitat o oscil·lació multidecennal de l'Atlàntic (AMO), per a la qual s'ha mostrat que l'aproximació multimodel millora la capacitat predictiva (*skill*, en anglès) de les prediccions decennals respecte a la dels sistemes individuals al CMIP5 (García-Serrano *et al.*, 2015). A més, la millora de la representació de l'AMO ha comportat una representació més precisa de l'impacte en la variabilitat de baixa freqüència sobre la Mediterrània (Guemas *et al.*, 2015).

D'altra banda, la regionalització té un efecte rellevant en les projeccions de la precipitació, ja que es troben diferències importants respecte a les projeccions realitzades amb models globals. Analitzant les simulacions del projecte ESCAT, es va concloure, a Gonçalves *et al.* (2014), que els models regionals, quan són forçats amb reanàlisis meteorològiques, mostren una millora considerable pel que fa a la distribució i la variabilitat espacials de la precipitació respecte als models globals. També s'aconsegueix millorar la representació de

la precipitació per part dels models regionals quan s'augmenta la resolució espacial segons les parametritzacions físiques considerades. Tot i això, els models regionals també han de simplificar alguns processos (com ara la precipitació convectiva). A més, per a Catalunya, solen produir molta precipitació a les zones muntanyoses, i fins i tot poden donar resultats poc realistes en les zones seques de l'interior, caracteritzades per llargs períodes secs seguits d'episodis de precipitacions intenses (Barrera-Escoda *et al.*, 2014). Per a la temperatura, en canvi, l'efecte de la regionalització no és tan important, cosa que podria indicar l'absència de retroaccions positives de tipus local o regional. En resum, tal com diu l'AR5, es considera que la regionalització afegeix valor a la simulació del clima en regions amb l'orografia complexa o que contenen línies costaneres. D'aquesta manera, la regionalització esdevé un bon complement a les projeccions amb models globals.

Amb relació a les projeccions que formaven part del SICCC, que posteriorment també es van publicar a Calbó *et al.* (2012), les projeccions presentades aquí mostren força semblances, però també alguna diferència. En particular, les projeccions d'increment de temperatura per a mitjan segle XXI són molt similars, cosa que en reforça la fiabilitat. En canvi, hi ha algunes diferències destacables en el cas de la precipitació. En el SICCC es donava, per a Catalunya, una disminució de l'interval entre -5 i 0 %, amb el màxim de disminució al Pirineu (entre -20 i -5 %) i el mínim (o fins i tot augment), a la costa (entre -5 i +10 %); mentre que ara es troba que la disminució podria ser una mica més rellevant i amb un impacte més clar a la zona litoral. Aquestes diferències no són gaire rellevants si es tenen en compte els intervals sencers, i no han d'estranyar, ja que actualment es disposa de més coneixement, de noves projeccions globals amb nous escenaris i, sobretot, de més resultats de projectes de regionalització amb una resolució espacial més bona, els quals, com s'ha explicat, incideixen especialment en la representació de la precipitació.

Finalment, cal comentar que aquest treball s'ha centrat, majoritàriament, en l'anàlisi de simulacions forçades per a escenaris d'emissions «moderats» (l'A1B i l'RCP4.5) i, per tant, hom podria

assumir que els canvis futurs es trobaran a la banda alta dels intervals proposats, o més amunt encara, si l'escenari seguit n'és un de més «alt» en emissions (l'RCP6 o l'RCP8.5). Tot i això, atès que les concentracions de GEH presents a tots els escenaris no divergeixen considerablement fins a l'horitzó del 2040 i que el sistema climàtic presenta una forta inèrcia, el clima dels decennis immediatament futurs serà fortament condicionat per les emissions que ja s'han produït fins ara (el que es coneix com a *climate commitment*). Per tant, no s'ha d'esperar que, en l'horitzó de mitjan segle, i fins i tot amb escenaris més intensius pel que fa a les emissions, s'assoleixin canvis de temperatura i precipitació molt més grans que els presentats en aquest estudi.

Algunes de les limitacions i incerteses associades als resultats dels models globals podrien anar-se resolent durant el desenvolupament de la sisena fase del Projecte d'intercomparació de models acoblats (CMIP6; Meehl *et al.*, 2014b), que es va començar a plantejar, per iniciativa del WCRP, durant el 2014. El CMIP6 posa l'èmfasi a esbrinar quin és l'origen i les conseqüències dels biaixos sistemàtics dels models climàtics. Les simulacions que formaran part del CMIP6 s'estructuren en diversos nivells. El primer és el de la diagnosi, l'avaluació i la caracterització del clima (DECK), i serveix com a targeta de presentació d'un model dins el projecte CMIP. Aquest nivell implica quatre simulacions: a) una simulació del comportament de l'atmosfera en el període recent (~ 1979-2014); b) una simulació del control per al període preindustrial; c) una simulació amb un 1%/any d'increment de CO₂, i d) una simulació amb un augment sobtat (quadruplicació) de CO₂. A més a més, cal afegir-hi una simulació històrica (1850-2014), que servirà com a referència per als diversos projectes temàtics d'intercomparació (MIP), els quals hauran de ser aprovats prèviament. Actualment ja s'han aprovat més d'una vintena de MIP, entre els quals hi ha, com a exemple, els dedicats a les retroaccions dels núvols, a les accions de geoenginyeria i al gel marí.

Pel que fa a l'efecte de la baixa resolució de la malla dels models globals, un dels MIP que formen part del CMIP6 intenta, precisament, abordar aquesta qüestió. Aquest MIP (anomenat HiRes-

MIP) proposa una sèrie d'experiments coordinats en els quals les projeccions fins a mitjan segle es realitzaran amb models globals d'alta resolució (uns 25 km). Aquest exercici, que implica un gran repte tecnològic, no solament pretén comparar les projeccions climàtiques amb les realitzades amb els mateixos models usant resolucions estàndard (~ 100 km), sinó que també aspira a estudiar quins són els processos més sensibles a la resolució. Els resultats es compararan, també, amb els obtinguts per mitjà dels experiments de regionalització dels models globals, per als quals la resolució arriba fins a uns 10 km, encara que només en zones seleccionades del planeta. S'espera que l'augment de resolució en els models globals permeti reduir les fonts d'incertesa que limiten el nostre coneixement del clima futur i obtenir estimacions dels intervals de confiança més robustos i representatius de la incertesa real.

5.4. Conclusions

Tots els projectes analitzats (que inclouen projeccions i prediccions decennals amb models climàtics globals, i tècniques de regionalització estadística i dinàmica) donen com a resultat un senyal molt robust d'augment de temperatura a Catalunya per als pròxims decennis. Aquest augment, que serà continu, es manifesta en tots els horitzons temporals, en totes les estacions de l'any i en totes les àrees geogràfiques/climàtiques de Catalunya. Dels diferents models, escenaris i tècniques s'obté un interval de valors per a l'augment de temperatura. Assumint que la mediana d'aquesta població de valors es pot considerar representativa del valor més probable, resulta que per al decenni present, l'augment de temperatura podria ser de 0,8 °C respecte a la mitjana del període 1971-2000, la qual ja és més alta que la d'anys anteriors del mateix segle xx). A mitjan segle XXI (2031-2050), la temperatura podria augmentar prop d'1,4 °C en mitjana anual per a tot Catalunya. Increments una mica més elevats es podrien produir durant l'estiu i al Pirineu, on el valor estimat arriba als 2 °C.

En el cas de la precipitació, encara que l'efecte del canvi climàtic a Catalunya sembla apuntar cap a una disminució, es tracta d'una tendència més incerta. Concretament, les prediccions decennals i les tècniques de regionalització mostren un canvi molt poc significatiu, de tan sols -2 %, per al de-

cenni present (2012-2021) respecte al període de referència (1971-2000), mentre que les projeccions dels models globals fins i tot presenten un petit augment per a aquest mateix període (igualment no significatiu). El descens de la precipitació esdevé més evident cap a mitjan segle XXI en les projeccions regionalitzades, ja que per a aquest període es troben valors representatius al voltant del -10 % a la primavera, l'estiu i la tardor. Combinats amb disminucions menys significatives a l'hivern, comportarien una disminució de la precipitació anual per al conjunt de Catalunya de prop d'un -7 %. Amb relació a aquesta variable, cal destacar la necessitat de regionalitzar les simulacions climàtiques en àrees com Catalunya, ja que l'orografia complexa i la interacció mar-terra queden mal representades en els models globals. Malgrat tot, cal dir que un augment del detall espacial no implica una disminució de la incertesa, com es posa de manifest amb els intervals de les projeccions regionalitzades de precipitació. També s'ha de reconèixer que encara no es disposa de gaire evidència observacional ni base teòrica per a validar les projeccions de disminució màxima de precipitació a la meitat càlida de l'any.

D'altra banda, els resultats del projecte ESCAT indiquen que els extrems de temperatura i precipitació s'alterarien d'una manera apreciable amb canvis com els següents: l'increment significatiu de l'ocurrència de mesos càlids, la disminució de les nits de glaçada, principalment al Pirineu, l'augment de les nits tropicals a la façana litoral, l'augment de la probabilitat d'ocurrència dels episodis de precipitació diària molt abundant (> 200 mm en 24 h) i l'augment de la longitud dels períodes secs, amb una ocurrència i gravetat més gran de les seques. Els canvis en aquests fenòmens extrems, però, es presenten i es discuteixen amb molta més profunditat en el capítol 6 d'aquest TICCC.

Cal acabar dient que, de tots aquests canvis projectats, es deriven impactes sobre la disponibilitat d'aigua, sobre la demanda energètica i la producció d'energia d'origen renovable, sobre l'agricultura i la ramaderia, sobre els ecosistemes terrestres aquàtics, sobre el turisme i altres activitats econòmiques, etc. Molts d'aquests impactes, així com les mesures d'adaptació que es poden emprendre, seran presentats en els capítols següents d'aquest INFORME.

5.5. Recomanacions

- Sempre que es facin estudis sobre l'impacte del canvi climàtic, o sobre les mesures d'adaptació, o sempre que es vulgui tenir present aquest factor en algun pla o estratègia, és convenient d'incorporar un interval de projeccions. És a dir, es recomana d'utilitzar els resultats de diversos models, de diverses tècniques de regionalització, etcètera.
- Com tendeixen a fer els projectes més recents, es recomana de facilitar l'accés a la informació de les projeccions als usuaris interessats, en un enfocament dirigit a donar serveis climàtics a la ciutadania en general.
- En el procés de comunicació de les projeccions de canvi climàtic futur, es recomana, així mateix, d'incidir en les incerteses associades que limiten la fiabilitat de les estimacions, com per exemple els errors sistemàtics i la resolució baixa dels models globals, sobretot en regions particularment sensibles (com ara Catalunya), sense que això posi en qüestió les tendències estimades que són comunes a la major part de models globals i regionals.
- Es recomana, també, d'anar incorporant els resultats de les prediccions decennals en els processos de presa de decisions on escaigui. En aquest sentit, també serà convenient d'afavorir la recerca en regionalització de projeccions i prediccions decennals climàtiques.

Referències bibliogràfiques

- ALTAVA-ORTIZ, V. (2010). *Caracterització i monitoratge de les seques a Catalunya i nord del País Valencià. Càlcul d'escenaris climàtics per al segle XXI*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Astronomia i Meteorologia.
- BAIC 2014 = *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics: Any 2014* (2015) [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Servei Meteorològic de Catalunya. Àrea de Climatologia. Equip de Canvi Climàtic. <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2015/06/05075856/00_BAIC-2014_TOT.pdf> [Consulta: 11 desembre 2015].
- BARRERA-ESCODA, A.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, D. [et al.] (2014). «Analysis of projections of tempera-

- ture and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050)». *Climatic Change*, 122(4), p. 567-582.
- CALBÓ, J.; SÁNCHEZ-LORENZO, A.; BARRERA-ESCODA, A. [et al.] (2012). «Climate change projections for Catalonia (NE Iberian Peninsula). Part II: Integrating several methodologies». *Tethys*, 9, p. 13-24.
- GARCÍA-SERRANO, J.; GUEMAS, V.; DOBLAS-REYES, F. J. (2015). «Added-value from initialization in predictions of Atlantic multi-decadal variability». *Climate Dynamics*, 44, p. 2539-2555.
- GIORGI, F. (2006). «Climate change hot-spots». *Geophysical Research Letters*, 33, L08707.
- GIORGI, F.; JONES, C.; ASRAR, G. R. (2009). «Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework». *WMO Bulletin*, 58(3), p. 175-183.
- GONÇALVES, M.; BARRERA-ESCODA, A.; BALDASANO, J. M. [et al.] (2015). «Modeling wind resources in climate change scenarios for the North Eastern Iberian Peninsula». *Renewable Energy*, 76, p. 670-678.
- GONÇALVES, M.; BARRERA-ESCODA, A.; GUERREIRO, D. [et al.] (2014). «Seasonal to yearly assessment of temperature and precipitation trends in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050)». *Climatic Change*, 122(1-2), p. 243-256.
- GUEMAS, V.; GARCÍA-SERRANO, J.; MARIOTTI, A. [et al.] (2015). «Prospects for decadal climate prediction in the Mediterranean region». *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141, p. 580-597.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de S. Solomon, D. Qin, M. Manning [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1>> [Consulta: 15 setembre 2015].
- (2013). «Annex I: Atlas of global and regional climate projections». Edició de G. J. van Oldenborgh, M. Collins, J. Arblaster [et al.]. A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_AnnexI_FINAL.pdf> [Consulta: 15 setembre 2015].
- KOTLARSKI, S.; KEULER, K.; CHRISTENSEN, O. B. [et al.] (2014). «Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble». *Geoscientific Model Development*, 7, p. 1297-1333.
- LINDEN, P. VAN DER; MITCHELL, J. F. B. (ed.) (2009). *ENSEMBLES: Climate change and its impacts. Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Exeter: Met Office Hadley Centre. També disponible en línia a: <http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf> [Consulta: 15 setembre 2015].
- MEEHL, G. A.; GODDARD, L.; BOER, G. [et al.] (2014a). «Decadal climate prediction: An update from the trenches». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(2), p. 243-267.
- MEEHL, G. A.; MOSS, R.; TAYLOR, K. E. [et al.] (2014b). «Climate model intercomparison: Preparing for the next phase». *EOS Transactions American Geophysical Union*, 95(9), p. 77-78.
- MEINSHAUSEN, M.; SMITH, S. J.; CALVIN, K. [et al.] (2011). «The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300». *Climatic Change*, 109(1), p. 213-241.
- MOSS, R.; BABIKER, M.; BRINKMAN, S. [et al.] (2008). *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies*. Ginebra: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (ed.) (2000). *Emissions scenarios 2000. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>> [Consulta: 15 setembre 2015].

TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. (2012).
«An overview of CMIP5 and the experiment design». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, p. 485-498.

2a PART

Sistemes naturals: impactes, vulnerabilitat i adaptació



6 Riscos d'origen climàtic

Autors

Maria del Carme Llasat Botija

Jordi Corominas

Carles García Sellés

Pere Quintana Seguí

Marco Turco

Maria del Carme Llasat Botija és doctora en ciències físiques per la Universitat de Barcelona, de la qual és actualment professora titular, i desenvolupa les línies principals de recerca en l'estudi dels riscos hidrometeorològics i el canvi climàtic, concretament en la Mediterrània, des d'una perspectiva multidisciplinària. És membre del Consell Executiu del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya i consellera del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya, així com de diferents comitès d'experts internacionals. Ha participat en una quarantena de projectes de recerca i desenvolupament, dels quals ha liderat una gran part. Fruit de la recerca, també ha col·laborat en més d'un centenar d'articles en revistes d'impacte internacional i ha dirigit una dotzena de tesis doctorals. És revisora de nombroses revistes i ha estat revisora dels tres darrers informes del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC). Amb el seu equip, també desenvolupa una activitat divulgadora i sensibilitzadora notable respecte als riscos naturals i el desenvolupament sostenible.

Jordi Corominas és catedràtic d'enginyeria geològica de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Ha centrat la recerca en els riscos naturals i, en particular, en l'avaluació de la perillositat i del risc de les esllavissades. Ha participat en més de vint projectes de recerca

nacionals i europeus sobre anàlisi quantitativa de risc, desenvolupament de metodologies d'auscultació i caracterització geomecànica de roques. Ha preparat més de vuitanta informes professionals per a la construcció d'obres d'enginyeria, la protecció del medi ambient i la cartografia de perillositat i riscos per a administracions i empreses consultores. És autor de més de cent cinquanta articles en revistes indexades, llibres i actes de congressos, organitzador de diversos congressos nacionals i internacionals, editor associat de la revista *Landslides*, membre del Comitè Tècnic Conjunt 1 (JTC-1) de Pendent Natural i Esllavissades de la Societat Internacional de Mecànica de Roques (ISRM), la Societat Internacional de Mecànica de Sòls i Enginyeria Geotècnica (ISSMGE) i l'Associació Internacional d'Enginyeria Geològica i Medi Ambient (IAEG) (2010-2014), i president del Centre Europeu de Riscos Geomorfològics (CERG) del Consell d'Europa (2009-2014).

Carles García Sellés és llicenciat en geografia i màster en climatologia aplicada per la Universitat de Barcelona. Actualment desenvolupa la tasca professional a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, que consisteix en la predicció i la cartografia d'allaus al Pirineu de Catalunya. Les línies actuals d'investigació se centren en el coneixement del mantell nivall i l'evolució del perill d'allaus, en la climatologia d'alta muntanya i en els efectes del canvi climàtic

en el turisme de neu. Conseqüentment, ha publicat articles en diverses revistes d'impacte internacional, ha participat en projectes de recerca i desenvolupament i ha estat revisor en algunes revistes. Com a especialista en el dispositiu de predicció d'allaus, forma part del grup de treball del Servei Europeu de Previsió d'Allaus (EAWS). En l'àmbit de la divulgació, és formador en matèria de seguretat per allaus de diversos cossos professionals i ha impartit conferències a diverses universitats estatals i estrangeres.

Pere Quintana Seguí és llicenciat en física per la Universitat de Barcelona (2004) i doctor en oceà, atmosfera i superfícies continentals per la Universitat Paul Sabatier de Tolosa de Llenguadoc (2008). Des del 2008, és investigador de l'Observatori de l'Ebre (URL-CSIC), en el qual lidera una línia de recerca centrada en l'estudi del cicle hidrològic continental, la modelització i la relació amb el clima i el canvi climàtic. Sobretot se centra en l'estudi de la hidrologia mediterrània, amb un interès especial per l'Ebre i les altres conques ibèriques, incloent-hi les catalanes. En el camp de la modelització, treballa en la modelització física del conjunt sòl-vegetació-atmosfera i en l'ús de models hidrològics distribuïts de base física. Participa molt activament en el programa internacional HyMeX, ha participat en diversos projectes europeus i nacionals, ha contribuït a nombrosos congressos i tallers, i ha publicat a diverses revistes internacionals d'impacte.

Marco Turco és llicenciat en física per la Universitat de Torí i doctor en física per la Universitat de

Barcelona. Actualment és investigador al Barcelona Supercomputing Center, i centra la investigació en els impactes climàtics regionals sobre els ecosistemes i el cicle hidrològic, amb un interès especial per als mètodes de reducció d'escala, el medi ambient mediterrani, els extrems hidrometeorològics, els incendis forestals i la predicció estacional. És autor de catorze publicacions en revistes revisades indexades i el 2014 va rebre el jove guardó científic atorgat per MedCLIVAR per les investigacions sobre els impactes del canvi climàtic i la contribució a l'anàlisi de les precipitacions extremes.

Agraïments

Volem expressar el nostre agraïment a l'Agència Catalana de l'Aigua, al Servei Meteorològic de Catalunya i a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, per la informació facilitada. Així mateix, volem agrair a Joan Gilabert i a Montserrat Llasat la col·laboració en l'estudi de les inundacions. També volem manifestar el nostre agraïment als projectes MEDEX, HYMEX i HOPE, en els quals s'ha desenvolupat part de la investigació sobre inundacions i pluges fortes. La investigació en allaus ha tingut el suport del projecte d'investigació CTP-2010, «Influència del canvi climàtic en el turisme de neu al Pirineu», finançat per la Comissió de Treball dels Pirineus i pels contractes del programa de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya des del 1993. Agraïm, també, la col·laboració de Nivorisk - Innovation & Solutions, SL, per la redacció i traducció al francès de la part relativa a les allaus.

Sumari

Síntesi	140
6.1. Introducció	141
6.2. Estimació de l'impacte del canvi climàtic en els riscos meteorològics a Catalunya	141
6.2.1. Onades de calor, onades de fred, nevades i gelades	143
6.2.2. Extremes pluviomètrics.....	144
6.2.3. Altres riscos meteorològics	145
6.3. Riscos socionaturals	146
6.3.1. Inundacions	146
6.3.2. Sequeres	148
6.3.3. Incendis forestals	149
6.4. Riscos geològics	150
6.4.1. Eslavissades.....	150
6.4.1.1. Observacions recents en la freqüència de desprendiments rocosos i esllavissaments superficials	151
6.4.1.2. Observacions recents en la freqüència de grans esllavissaments.....	152
6.4.2. Allaus de neu	152
6.5. Conclusions	154
6.6. Recomanacions	156
Referències bibliogràfiques.....	157

Síntesi

Aquest capítol se centra en els avançaments produïts des del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC) en el camp del coneixement de l'evolució dels principals riscos naturals d'origen meteorològic. Els estudis coincideixen a assenyalar un augment de les temperatures extremes, les onades de calor, les nits tropicals, les nits i els dies càlids i la durada de les ratxes càlides. Aquest augment és i continuarà essent més elevat a l'estiu i a les zones de muntanya. Dels extrems pluviomètrics, tan sols es detecta una tendència significativa en l'augment de la precipitació per dia de pluja, en la precipitació de caràcter convectiu i en la duració de les ratxes seques, i és molt probable que aquestes tendències s'agreugin en el futur. Aquests canvis són especialment notables a l'estiu. És possible que l'augment lleuger de les inundacions detectat principalment a l'estiu sigui conseqüència de l'augment de l'exposició i de la vulnerabilitat, però no es pot descartar completament un augment possible de les pluges d'intensitat elevada molt curtes i locals. Amb vista al futur, els escenaris no són concloents, però el possible augment de les precipitacions torrencials comportaria un increment del risc d'inundació. Hi ha indicis que la sequera podria estar augmentant en freqüència i en durada. L'augment de la temperatura estimula l'evapotranspiració; el mantell de neu disminueix i el desglaç s'avança. Això, juntament amb la reforestació de les capçaleres de moltes conques, causa una disminució dels cabals. Aquestes tendències continuaran en el futur i es veuran agreujades per la disminució de la precipitació. Així, doncs, les sequeres meteorològiques, hidrològiques i agrícoles seran més freqüents i duradores al llarg del segle XXI, i afectaran els recursos hídrics, la qualitat de l'aigua, els ecosistemes i els incendis. En els darrers quaranta anys (1970-2010) els incendis a Catalunya mostren una tendència decreixent. La modelització indica que, si no haguéssim dut a terme millores en la gestió i la prevenció d'incen-

dis, l'escalfament del clima hauria comportat una tendència positiva en el nombre d'incendis. Els escenaris de futur apunten cap a un augment en el nombre d'incendis si no s'introdueixen noves millores en el maneig del foc.

Pel que fa als riscos geològics d'origen meteorològic, l'interès dels experts i els cercadors electrònics han facilitat l'inventari d'esllavissades i de desprendiments rocosos, cosa que ha comportat la superació de la dificultat de treballar amb fenòmens dispersos pel territori. L'augment de la qualitat i la resolució de les observacions ha permès detectar un nombre elevat de casos de caràcter local, sovint amb una freqüència anual, i rebaixar lleugerament els llindars de pluja que els desencadenen. No s'han detectat canvis evidents en el comportament dels grans esllavissaments, més sensibles a la pluja estacional. S'ha observat una tendència temporal positiva anual en l'activitat de grans allaus, estadísticament significativa, des del decenni del 1970 fins al present. Respecte a la tipologia, s'ha enregistrat un augment de la magnitud i dels episodis d'allaus de neu humida, tot i que no hi ha prou dades per a parlar de tendències. En aquest sentit, destaquen els cicles de grans allaus humides a causa de la pluja dels últims hiverns, 2013-2014 i 2014-2015. En els darrers quaranta anys, al conjunt del Pirineu s'ha observat una correlació negativa, estadísticament significativa, entre l'ocurrència de cicles de grans allaus i l'índex de l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO). Respecte a l'evolució de la sinistralitat per allaus des del darrer informe (SICCC, 2010), s'ha incrementat la mitjana anual d'accidents i de ferits; contràriament, el nombre de morts ha disminuït, probablement per un augment en l'ús de les mesures d'autoprotecció i la conscienciació.

Paraules clau

temperatures extremes, inundacions, sequeres, incendis forestals, esllavissades, allaus

6.1. Introducció

L'any 2010 es va presentar el *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC; Llebot, 2010). En el capítol 6, sobre riscos associats al clima (Llasat *et al.*, 2010), es tractaven, a més dels conceptes vinculats amb els riscos naturals (com ara el risc, la vulnerabilitat o la prevenció), tots els riscos que tenien un component meteorològic o climàtic. Es presentaven la variabilitat, les tendències i les projeccions (si n'hi havia) dels riscos estrictament meteorològics (les onades de calor i les altes temperatures; les onades de fred, les nevades i les gelades; els temporals de vent i els tornados; la pedra, la calamarsa i les tempestes elèctriques, i les pluges fortes), que seguint la nomenclatura de l'Oficina de les Nacions Unides per a la Reducció del Risc de Desastres (UNISDR, 2009) es podrien qualificar de riscos socionaturals (les inundacions, les sequeres i els incendis forestals), i, finalment, els riscos geològics vinculats al clima (les esllavissades i les allaus de neu). A més dels trets característics, se n'analitzava la distribució temporal i espacial a Catalunya, les tendències observades i les consideracions per als escenaris futurs, tenint en compte els resultats presentats en els primers capítols del mateix informe i basats, principalment, en els treballs del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).

Cinc anys després, i en vista del darrer informe del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC, 2013, 2014), aquest capítol no repeteix el mateix esquema, cosa que esdevindria redundant. Partint de les conclusions del capítol corresponent del SICCC, de la identificació d'incerteses, punts febles i temes que cal explorar, i de les propostes de millora, presenta les novetats assolides en aquests darrers anys pel que fa a les tendències i els escenaris, o, en el cas que no es disposi d'aquests darrers, una discussió basada en els nous escenaris de temperatura i precipitació. Es fa, també, una reflexió crítica que connecta amb les propostes que es van presentar al capítol del SICCC, i es mostren les mesures d'adaptació (en aquest cas, referides a la mitigació del risc i a la millora de la resiliència) que ja es duen a terme o que s'aconsellaria implantar. Igual que en el SICCC, els riscos climàtics relacionats amb el mar, com ara els temporals de mar i l'onatge, no es consideren en aquest capítol perquè ja formen

part del capítol 8. Així mateix, tan sols es fa una breu aproximació a la sequera, que és tractada sobretot al capítol 7. Respecte als altres riscos d'origen meteorològic, aquest capítol se centra en els avenços posteriors a la publicació del SICCC i evita qualsevol redundància bibliogràfica respecte del que ja es va presentar en l'informe anterior.

Cal tenir present que l'efecte del canvi climàtic sobre els riscos naturals també pot afectar la seguretat nacional i internacional, tal com s'ha reconegut en diversos documents de les Nacions Unides, l'OTAN o la Unió Europea, entre d'altres, i en els documents més recents presentats per l'IPCC (2012, 2014) o, en el cas de Catalunya, en el presentat el 2012 (Llasat *et al.*, 2012). En aquest context, l'impacte va més enllà de les fronteres, ja que s'han de tenir presents les conseqüències en altres regions que poden comportar moviments migratoris («refugiats climàtics») o confrontaments. Tanmateix, incloure'ls aquí allargaria massa el capítol, que ultrapassaria els objectius d'aquest INFORME. Tampoc no es tracten alguns riscos hidrometeorològics per als quals encara no hi ha prou evidències per a concloure res sobre la tendència ni els escenaris futurs o no s'ha produït cap avenç després del SICCC. Finalment, altres riscos, com ara els marítims, són tractats en altres capítols d'aquest INFORME.

Tenint en compte les consideracions damunt dites, el capítol es divideix en tres grans apartats: els riscos vinculats exclusivament amb les condicions meteorològiques i climàtiques, els riscos en què intervenen altres factors naturals i humans, i, finalment, els riscos geològics que depenen intensament de les condicions climàtiques o meteorològiques.

6.2. Estimació de l'impacte del canvi climàtic en els riscos meteorològics a Catalunya

En aquest capítol, l'evolució, les tendències i els escenaris dels extrems pluviomètrics i de temperatura s'han estudiat principalment a partir dels índexs d'extrems definits pel Grup d'Experts en Detecció del Canvi Climàtic i Índexs (ETCCDI) de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) (per a més detalls, vegeu <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI> o WMO, 2009). Per a identificar-los, s'han

utilitzat les abreviacions angleses habituals (taula 6.1). Com a exemples, l'SDII donaria una certa idea de la intensitat de la precipitació, mentre que l'R90N es podria vincular amb el nombre de dies amb pluges fortes, i que un augment o una disminució de l'R95P ens indicaria un canvi més petit o més gran en els episodis de molta pluja, possiblement associats amb les inundacions. L'RX5DAY es relacionaria amb episodis de pluges fortes continuades, com els que es van produir entre el 6 i el 8 de novembre del 1982, o entre el 2 i el 5 d'octubre del 1987. Finalment, un augment de l'índex CDD apuntaria cap a una probabilitat més gran de sequeres, i les onades de calor es podrien relacionar amb el WSDI.

No sempre s'ha pogut disposar dels escenaris futurs. Quan això ha estat possible, els escenaris s'han obtingut a partir de l'aplicació d'un mètode

de disminució d'escala o downscaling estadístic (MOS) a les sortides de deu models climàtics regionals (RCM), els quals s'han seleccionat, per la simulació més bona, dels escenaris regionals generats en el context del projecte europeu ENSEMBLES (Linden *et al.*, 2009; Turco *et al.*, 2013c). Per tal de donar continuïtat als resultats presentats en el SICCC, s'ha treballat a una resolució de 20 x 20 km i s'ha utilitzat la base de dades actualitzada Spain02 per al període 1950-2008 (Herrera *et al.*, 2012) per a analitzar les tendències i validar les simulacions sobre Espanya i, particularment, sobre Catalunya, tant per a l'escenari 20C3M (període 1971-2000) com per a l'escenari A1B (2001-2100) (Turco *et al.*, 2015). Els RCM d'ENSEMBLES s'han alimentat amb les observacions proporcionades per la reanàlisi europea ERA-40 i per les projeccions dels models climàtics globals (GCM). Tal com mostra la figura 6.1, les simulacions a partir

TAULA 6.1. Índexs d'extrems utilitzats en aquest capítol

Abreviació	Unitat	Nom	Definició
SDII	mm/dia	Índex simple d'intensitat diària	Precipitació total per dia de pluja
R90N	dies	Nombre de dies amb precipitació superior al percentil 90	Nombre de dies amb precipitació superior a la recollida al 90 % del total dels dies
R95P	%	Percentatge de dies molt humits	Percentatge de precipitació causada per dies en què la pluja diària ha superat el percentil del 95 %
R95PTOT	%	Fracció de la precipitació total causada per dies molt humits	Percentatge de la precipitació total causada per dies molt humits
RX5DAY	mm	Precipitació màxima acumulada en un període de cinc dies	Precipitació màxima acumulada en un període de cinc dies amb precipitació superior o igual a 1 mm
β	%	Fracció de la precipitació convectiva respecte de la total	Fracció de precipitació amb intensitat en cinc minuts per sobre de 35 mm/h respecte de la precipitació total
CWD	dies	Durada màxima de ratxes humides	Nombre màxim de dies consecutius amb pluja > 1 mm
CDD	dies	Durada màxima de ratxes seques	Nombre màxim de dies consecutius sense pluja o amb precipitació diària per sota d'1 mm
Tx	°C	Temperatura màxima	Temperatura màxima diària per al període donat
Tn	°C	Temperatura mínima	Temperatura mínima diària per al període donat
TR	dies	Nits tropicals	Nombre de dies amb Tn > 20 °C
ES95pTx	°C	Percentil 95 de la Tx diària per a l'estiu ampliat	Percentil 95 de la temperatura màxima diària per al període comprès entre el maig i l'octubre
EW05pTn	°C	Percentil 95 de la Tn diària per a l'hivern ampliat	Percentil 95 de la temperatura mínima diària per al període comprès entre el novembre i l'abril
WSDI	dies	Ratxes càlides	Nombre de dies en què, com a mínim, hi ha sis dies consecutius amb Tx > 90 %
FD	dies	Dies de gelada	Nombre de dies amb Tn ≤ 0 °C

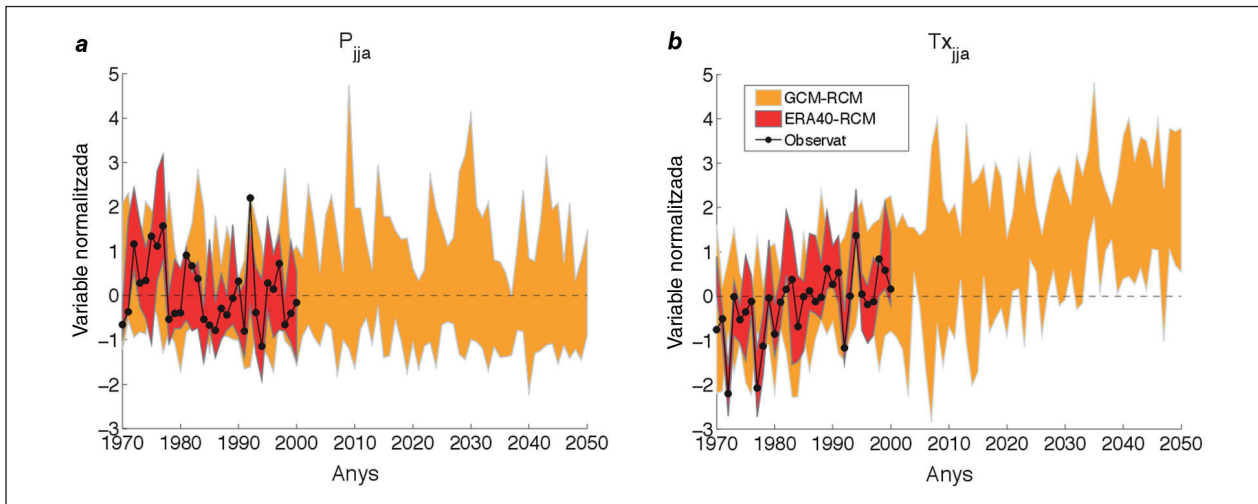


FIGURA 6.1. Evolució de la precipitació i la temperatura màxima estival (JJA) de Catalunya, normalitzades respecte al període 1970-2000. La línia negra representa les dades observades en aquest període; la banda vermella mostra els valors obtinguts a partir dels RCM alimentats amb les observacions de l'ERA-40. En el cas de la banda taronja, els models regionals s'han alimentat amb els escenaris generats pels GCM. L'amplitud de les bandes donen una idea del grau d'incertesa.

Font: Figura modificada a partir de Turco *et al.* (2014).

de la reducció d'escala dels RCM alimentats amb l'ERA-40 s'ajusten bastant bé a les observacions, així com els alimentats pels GCM, que a més conserven la variabilitat interanual (Turco *et al.*, 2013c, 2014).

Així mateix, s'han tingut presents les tendències i els escenaris proveïts en els capítols 4 i 5 d'aquest INFORME, i també el treball de Barrera-Escoda *et al.* (2014) per a la conca mediterrània nord-occidental. En aquest darrer, es va reduir l'escala a 10 km aplicant el WRF-ARW a les sortides d'extrems de temperatura i precipitació de l'IPCC-SRES, per als escenaris B1, A1B i A2, i per al període 1971-2050, cosa que també va ser validada amb la Spain02.

6.2.1. Onades de calor, onades de fred, nevades i gelades

Com ja s'ha comentat en els primers capítols i d'acord amb les constatacions del darrer informe de l'IPCC (2013), hi ha una confiança molt alta en un augment de les temperatures, que seria molt més marcat a l'estiu i per a les temperatures màximes (vegeu el capítol 4 d'aquest INFORME). Prenent com a exemple les observacions dels observatoris de l'Ebre i Fabra, s'ha constatat un augment de la durada de les ratxes càlides amb valors de +1,03 i +0,99 dies/decenni per als períodes 1905-2013 i 1914-2013, respectivament (BAIC, 2014). En el ca-

pítol 5 es mostra que l'augment projectat de la mediana de la temperatura a Catalunya és d'1,4 °C per al període 2031-2050, respecte del període de referència 1971-2000, un increment que passaria a ser d'1,8 °C a l'estiu. L'increment tèrmic observat i projectat, doncs, és particularment important per a poder estimar l'augment d'onades de calor en un futur immediat.

La figura 6.1 mostra l'evolució de la Tx estival (JJA) mitjana a Catalunya, obtinguda a partir de la base de dades Spain02 per al període 1970-2000, així com la modelitzada per al període 1970-2050. Les tendències observades mostren un augment de la Tx estival de 0,60 °C/decenni a 0,80 °C/decenni, amb una significança superior al 99 % (Turco *et al.*, 2014). Com il·lustra la figura, el 2050 la Tx estival es podria arribar a incrementar uns 3 °C.

En el cas de la conca mediterrània nord-occidental, Barrera-Escoda *et al.* (2014) troben un augment molt pronunciat per a tots els escenaris de la Tx del període maig-octubre entre el 2031 i el 2050, que arribaria a +3,5 °C en l'horitzó del 2050 i a +1,5 °C en el cas de la mínima. També hi ha acord entre els escenaris del 2050, pel que fa a l'ES95pTx, amb un augment de 5 °C. Per a l'índex equivalent, relatiu a les temperatures mínimes (EW05pTn), es troba una gran variabilitat interanual fins al 2030, a partir del qual l'augment arribaria a uns 2 °C el 2050, res-

pecte del període 1971-2000, i seria més marcat a les zones de muntanya. Mentre que el nombre anual de nits tropicals (TR), s'incrementaria en més de 25 dies/any, el nombre de dies de gelada (FD) podria decreixer, també, en uns 25 dies/any.

6.2.2. Extremes pluviomètrics

D'acord amb les conclusions ja presentades en el SICCC, es pot continuar afirmant amb molta confiança (utilitzant el llenguatge de l'IPCC) que en els darrers seixanta anys no hi ha cap tendència significativa i generalitzada a tot o a gran part de Catalunya del nombre de dies de pluges fortes, ni de la màxima precipitació en vint-i-quatre hores, ni dels índexs de pluges fortes, ni del percentatge de precipitació total procedent dels episodis amb una precipitació superior al percentil 90 o 95 (Turco *et al.*, 2011; BAIC, 2014).

Quan es treballa amb les sèries llargues dels observatoris de l'Ebre i Fabra, l'SDII és l'únic índex que presenta una tendència positiva estadísticament significativa en ambdós casos (SMC, 2014). L'índex RX5DAY presenta una disminució significativa de -5 mm/decenni a l'estiu a l'Observatori de l'Ebre (Turco *et al.*, 2011). Per contra, anualment i per a la sèrie 1905-2013 es detecta un augment de $+2,26$ mm/decenni en aquesta estació, que seria de $+2,01$ mm/decenni segons l'Observatori Fabra, si bé cap dels dos són significatius al 95 %. Convé recordar que els primers decennis del segle xx van ser particularment secs. La precipitació total anual en els dies molt plujosos, P95pTOT, presenta una tendència positiva i estadísticament significativa de $+7,28$ mm/decenni segons l'Observatori Fabra (SMC, 2014).

Una altra novetat introduïda després del SICCC ha estat l'estudi de l'evolució de la precipitació convectiva a les conques internes de Catalunya a partir de les dades de cinc minuts de precipitació de quaranta-tres pluviògrafs del Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH) de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (1996-2011) i del pluviògraf Jardí de l'Observatori Fabra (1928-1977) (Llasat *et al.*, en premsa). Aquest estudi aporta una llum nova a l'evolució de les precipitacions intenses a Catalunya, ja que mostra un augment generalitzat de la precipitació convectiva, un augment de la fracció de precipitació convectiva

respecte de la total i una disminució del nombre de dies i d'episodis convectius, principalment a l'estiu. Tenint en compte que, a més, no es detecta cap tendència de la precipitació generalitzada a l'estiu (figura 6.1), apuntaria cap a la hipòtesi d'un augment de la torrencialitat de la pluja, amb menys episodis però més intensos. Aquest comportament no es detectaria a l'Empordà, on el component convectiu de la precipitació disminueix i els episodis són menys intensos, sobretot a l'estiu i a la tardor.

Pel que fa als extrems inferiors de la pluja, és a dir, a les situacions que podrien ocasionar una manca de recursos, l'índex CDD a escala anual mostra una tendència coherent espacialment i temporalment, amb un augment de 0,6 a 0,7 dies/decenni des de principis del segle xx (SMC, 2014), un comportament que també es detecta per a les sèries més llargues dels observatoris de l'Ebre i Fabra, amb augments significatius al 99 % de 2,7 i 2,1 dies/decenni, respectivament, per al període 1951-2003 (Turco *et al.*, 2011). Aquesta tendència positiva és corroborada per altres treballs d'àmbit estatal, com el de López-Moreno *et al.* (2010). Tanmateix, quan es prenen les sèries 1905-2013 i 1914-2013 dels observatoris de l'Ebre i Fabra, respectivament, no es troba cap tendència significativa al 95 % (SMC, 2014).

Igual que succeeix amb les tendències, solament existeix un acord elevat entre els diferents escenaris regionals en el cas de l'índex CDD (figura 6.2). Per a l'horitzó 2011-2040, una gran part del país experimenta un augment superior al 25 % en la durada de les ratxes seques, sobretot a la primavera i a l'estiu, que s'estén espacialment i temporalment per als escenaris posteriors i arriba a afectar gairebé tot el país i totes les estacions de l'any en l'horitzó 2071-2100 (Turco *et al.*, 2015). Així, es pot assegurar, amb un nivell de confiança molt alt, que, amb excepció de l'hivern, totes les estacions de l'any experimenten un increment en l'índex CDD per a tots els horitzons futurs. Aquests resultats es correspondrien amb la disminució de la mediana de la precipitació al país, que arriba a ser propera al 7 % per a l'escenari 2031-2050, i superior al -9 % a totes les estacions de l'any amb excepció de l'hivern, com indiquen els autors del capítol 5 d'aquest INFORME.

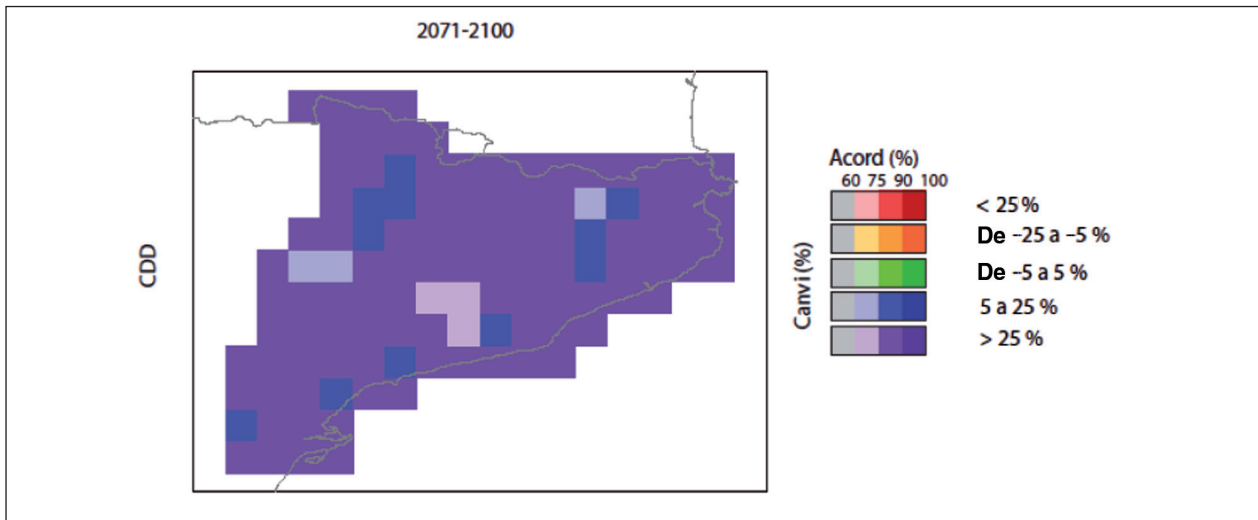


FIGURA 6.2. Projeccions futures de l'índex CDD per al període 2071-2100. S'indica el percentatge de canvi respecte de l'escenari base (1971-2000). L'acord es refereix al percentatge de models del conjunt analitzat que coincideixen en l'augment o en la disminució.

Aquests resultats referits exclusivament a Catalunya s'adeqüen als trobats per Barrera-Escoda *et al.* (2014) per al nord-oest de la Mediterrània: la distribució de probabilitats apunta cap a un augment de la freqüència de les precipitacions diàries per sobre dels 200 mm/24 h, tot i que es podria arribar a valors per sobre dels 500 mm/24 h. En el període instrumental solament ens consten valors d'aquesta magnitud o més: a Catalunya, en els episodis d'inundació de l'octubre del 1940 i del novembre del 1982, ambdós als Pirineus. El nivell d'acord per als altres índexs relacionats amb pluges fortes és baix a escala regional. Un augment del 5 % de l'índex R95P a la vall de l'Ebre i a algunes regions de l'interior del país és probable, i també del R95PTOT per a la costa i la vall de l'Ebre. Malgrat que no s'espera que l'índex CWP variï significativament, és més probable que no hi hagi una reducció d'uns cinc dies l'any al Pirineu occidental per al 2021-2050. Per contra, Barrera-Escoda *et al.* (2014) destaquen l'augment de l'índex CDD en més de deu dies l'any per a l'horitzó 2021-2050.

6.2.3. Altres riscos meteorològics

Respecte als episodis de nevades excepcionals, no n'hi ha cap tendència manifesta. Malgrat que s'han produït episodis anòmals de nevades a cotes baixes i en mesos poc freqüents, acompanyats fins i tot de tempestes, com el del març del 2010, la comparativa amb episodis anteriors no permet concloure'n cap increment (Bech *et al.*, 2012; Llasat *et al.*, 2014b). La disminució del nombre anu-

al de dies de neu (-0,16 dies/decenni) només és significativa a l'Observatori de l'Ebre (BAIC, 2014).

Pel que fa als temporals de vent, els temporals marítims, els tornados i els petits huracans mediterranis o medicans, no ens consta cap descobriment nou sobre l'impacte del canvi climàtic a Catalunya des que es va publicar el SICCC, en el qual es van tractar detingudament (Llasat *et al.*, 2010). Coincidint amb les conclusions de l'IPCC envers aquests riscos, els problemes principals rau en la incertesa elevada dels escenaris pel que fa al vent i en la poca robustesa de les evidències a causa de la curta longitud i l'heterogeneïtat de les sèries d'observació. És el cas dels tornados, per als quals ja es comentava que l'augment detectat seria conseqüència de l'augment de la percepció i de les observacions (Gayà *et al.*, 2011), tal com ha quedat palès en un estudi intensiu recent sobre els tornados a Espanya (Gayà, 2015). Sí que existeixen, per contra, nombrosos estudis de casos, com ara els de Pineda *et al.* (2011) o Bech *et al.* (2015).

Respecte a les pedregades, se segueix constatant que encara no es pot assegurar cap tendència, sobretot per la dificultat d'obtenir informació sobre els episodis i els impactes, i, consegüentment, sobre l'evolució, tal com ja indiquen alguns articles que tracten, més o menys a bastament, sobre la climatologia. Seria el cas de l'estudi de l'impacte social de les pedregades, la pluja i el vent (Barbería *et al.*, 2014) o de les característiques radar de les cèl·lules

convectives associades a les pedregades (Rigo *et al.*, 2016). En el cas de les tempestes elèctriques, si bé la xarxa de detecció de llamps del Servei Meteorològic de Catalunya disposa d'informació dels darrers anys, encara no existeix una sèrie prou llarga per a extreure conclusions significatives sobre la tendència.

Tant en el cas de precipitacions molt intenses com en el cas de temps rúfol, és necessari tenir present l'evolució dels ciclons o depressions mediterrànies, molt relacionats amb aquests episodis a la Mediterrània, com es va demostrar en el projecte MEDEX (Jansà *et al.*, 2014), finalitzat després de la publicació del SICCC. La freqüència màxima de ciclons es registra al nord-oest de la regió, i en el cas de Catalunya, les pluges fortes són molt afavorides per la presència d'una pressió baixa al mar catalanobalear (Campins *et al.*, 2006). El paper dels ciclons també és important en el desenvolupament dels temporals de vent, malgrat que a diferència de les pluges fortes, una gran part dels ciclons es forma fora de l'àrea mediterrània, majorment a l'Atlàntic. Per tant, els canvis que es puguin produir en el futur en la freqüència i la trajectòria dels ciclons seran fonamentals en ambdós tipus de fenòmens. Considerant alguns estudis que no es van incloure en el SICCC, s'observa una disminució en la freqüència dels ciclons, sobretot a l'hivern i a la primavera, a l'oest de la Mediterrània (Guijarro *et al.*, 2006). Respecte als escenaris, Tous *et al.* (2009) apunten cap a un augment de les dimensions dels ciclons a la Mediterrània, si bé la intensitat, el cicle de vida i el recorregut serien similars als actuals. Afegeixen, també, que si es descarten els episodis de curta durada i trajectòria, els escenaris apunten cap a una disminució del nombre de ciclons intensos i de les trajectòries més llargues i cap a un augment dels ciclons moderats. Cal dir que els ciclons mediterranis més intensos no necessàriament són els que s'associen a temps més adversos. De fet, el 77 % dels temporals de vent de la Mediterrània serien produïts per ciclons moderats o febles (Ulbrich *et al.*, 2013). D'altra banda, una configuració positiva de l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) habitualment és desfavorable a l'entrada de ciclons de l'Atlàntic que arribin a la Mediterrània occidental, així com als episodis de pluges intenses de tardor a Catalunya. Conse-

güentment, un augment de freqüència de la fase positiva de la NAO, tal com preveuen alguns models, comportaria una disminució d'aquest tipus de situacions de temps adversos.

6.3. Riscos socionaturals

6.3.1. Inundacions

Més del 40 % dels municipis de Catalunya presenten un risc d'inundació alt o molt alt, la major part dels quals a la costa, com ja es va veure al SICCC. Una actualització de l'estudi presentat al SICCC (Llasat *et al.*, 2009) ha mostrat que entre el 1981 i el 2010 (un període amb informació «homogènia») es van enregistrar 219 episodis d'inundació a Catalunya, el 71 % dels quals a comarques costaneres, sobretot al Maresme (48 % del total) i, ja a escala municipal, a Arenys de Mar (47 episodis) (Llasat *et al.*, 2014a). D'aquests 219 episodis, un 11 % va produir danys greus, amb una destrucció parcial o total d'infraestructures (denominats *catastròfics*), i un 53 %, danys importants (*extraordinaris*). La major part d'aquests episodis es van enregistrar a la tardor (48 %) i a l'estiu (32 %). En comparació amb l'estudi del període 1900-2007 que es va comentar al SICCC, l'estiu presenta una freqüència d'episodis extraordinaris referenciats (o coneguts) més gran, probablement a causa de la possible heterogeneïtat de la informació dels primers decennis del segle (en els quals no hauria quedat constància de tots els episodis) i dels canvis en les conques, però no podem descartar totalment un augment dels episodis torrencials de molt curta durada, com s'ha posat de manifest en l'apartat anterior. La figura 6.3 mostra el nombre d'episodis d'inundació anuals que han afectat Catalunya des del 1950. S'hi observa un augment amb el temps, que en part es pot deure a l'augment de la informació disponible des del 1981, motiu pel qual el càlcul de la tendència s'ha fet a partir d'aquesta data. Així, l'estudi de la tendència dins del període informativament homogeni (1981-2010) mostra un augment d'un episodi d'inundació/decenni amb una confiança del 95 %, que és molt més acusat que el presentat en el SICCC i que és conseqüència de l'augment de les inundacions extraordinàries. Aquest augment és de 0,8 episodis per decenni quan es refereix al període de juliol a setembre.

L'anàlisi de la sèrie d'inundacions enregistrades a Catalunya per al període 1301-2012 (Barrera-Escoda *et al.*, 2015) corrobora la variabilitat natural de les inundacions catastròfiques, molt vinculada a les oscil·lacions climàtiques i ja mostrada en el SICCC. L'estudi apunta cap a una relativa bona correlació entre aquestes inundacions i l'activitat solar per mitjà de l'impacte que podria tenir en la circulació general (Moffa-Sánchez *et al.*, 2014), un factor que caldria tenir present per a l'elaboració d'escenaris futurs. Per al mateix període, les inundacions extraordinàries mostren una lleugera tendència positiva, sobretot a partir de mitjan segle XIX, com ja s'havia mostrat en el SICCC per al període 1301-2002. Aquest augment sobretot és degut a les inundacions produïdes per aiguats costaners, principalment a conseqüència de l'augment estival. Tanmateix, és difícil conèixer les causes de les tendències (o no tendències) de les inundacions, ja que hi intervenen factors climàtics (com ara l'augment d'episodis de precipi-

tació intensa), hidrològics (com, per exemple, els canvis en els usos del sòl), hidràulics (com ara els embassaments), d'exposició (com, per exemple, l'augment de la població en zones inundables) i de vulnerabilitat (com ara la resistència de les infraestructures). Les mesures de mitigació, com ara les xarxes de drenatge i els dipòsits fluvials, també poden modificar qualsevol tendència natural. A més, existeix un augment de l'impacte econòmic de les inundacions que es deuria, principalment, a l'augment dels béns assegurats i del cost de la vida, tal com mostra un estudi realitzat a tot l'Estat espanyol (Barredo *et al.*, 2012). De fet, entre el 1971 i el 2010 el Consorci de Compensacions d'Assegurances va pagar 20.900.000 € en concepte de danys per inundacions.

Amb vista al futur, els escenaris no són concloents, però tenint en compte el possible augment de les precipitacions torrencials i, molt probablement, de l'exposició i la vulnerabilitat, tot apunta cap a

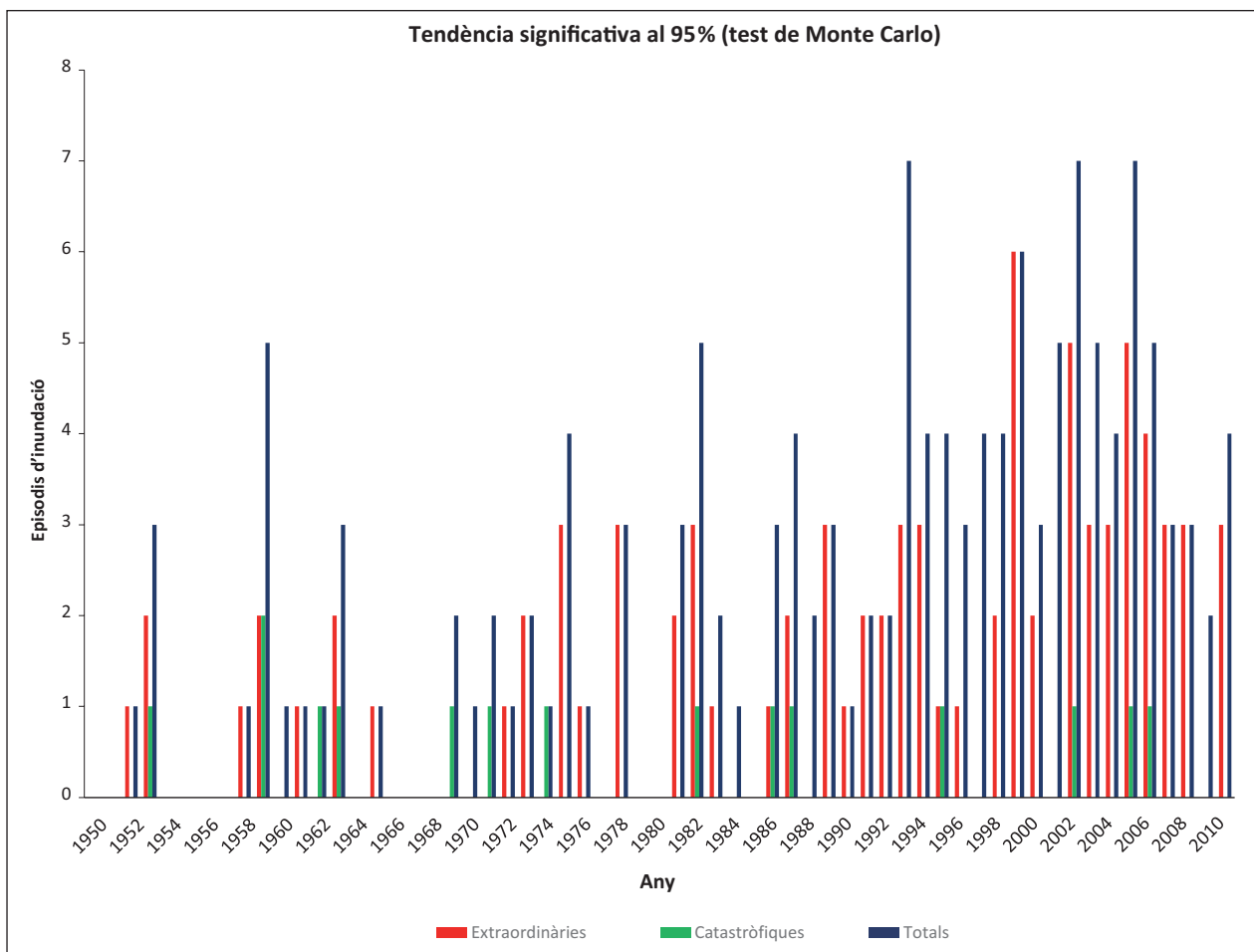


FIGURA 6.3. Evolució temporal dels episodis d'inundació a Catalunya, tenint en compte les diferents categories, per al període 1950-2010.

un increment significatiu del risc d'inundacions, el qual es podria mitigar mitjançant un augment de la previsió, la prevenció i la resiliència.

6.3.2. Sequeres

El coneixement que tenim sobre les sequeres a Catalunya ha progressat des del SICCC. Cada cop hi ha més dades de qualitat *in situ*, comprovades i homogeneïtzades. Es disposa de nous jocs de dades de satèl·lit que ens permeten tenir accés a dades difícils de mesurar. S'han fet nous progressos en el camp de la modelització del cicle de l'aigua continental, incloent-hi la creació d'una base de dades reticular d'alta resolució pensada per a forçar models de base física (SAFRAN, Quintana Seguí *et al.*, 2015) i la implementació d'un model físic distribuït (SURFEX) que permet estudiar els processos físics subjacents a alta resolució. Els models climàtics regionals han anat augmentant la resolució i, sobretot, acoblen cada cop més processos (com és el cas del Med-CORDEX, una iniciativa pel desenvolupament de models climàtics regionals per al Mediterrani).

Els resultats més recents mostren que la sequera augmenta en freqüència i esdevé més persistent a moltes àrees de la Mediterrània, incloent-hi parts de Catalunya (Sousa *et al.*, 2011; Vicente-Serrano *et al.*, 2014). Si bé meteorològicament no s'observen tendències anuals de precipitació, estacionalment la precipitació disminueix a la primavera (Luis *et al.*, 2010), com ja es va comentar al SICCC. També, com s'ha esmentat, s'observa un augment del nombre de dies secs consecutius en moltes zones del país (Turco *et al.*, 2011). Això s'uneix a l'augment observat de les temperatures tant a escala anual com estacional, que és especialment important a la primavera i a l'estiu (Río *et al.*, 2011; Kenawy, 2012). L'augment de la temperatura estimula l'evapotranspiració sobretot en els períodes en què el sòl encara és humit (com ara la primavera). També s'ha observat que el gruix del mantell de neu del Pirineu va disminuint (Morán Tejada *et al.*, 2012) i, per l'augment de les temperatures, el desglaç s'avança. Així, doncs, el període sec estival s'està allargant i les reserves d'aigua per a fer-hi cara disminueixen, fet que ens fa més vulnerables en els anys extremament secs. Als efectes purament climàtics s'han de sumar els canvis en els usos del sòl. L'augment de la massa forestal a les

capçaleres de molts rius estimula l'evapotranspiració, cosa que causa una disminució del cabal dels rius (Gallart *et al.*, 2011; López Moreno *et al.*, 2011). Aquest canvi redueix encara més l'aigua disponible per a fer cara als períodes extrems.

Pel que fa al cabal, també cal tenir en compte el grau important d'aprofitament de les aigües, fet que deixa poc marge de gestió. De fet, s'ha observat que, a causa de la suma dels processos mencionats, el cabal anual, hivernal i de primavera disminueix a la major part de les conques (Lorenzo Lacruz *et al.*, 2012; Martínez Fernández, 2013). L'augment de la temperatura i la prolongació del període sec estival provoca un augment de la demanda d'aigua dels cultius. Així, doncs, l'estrès hídric es pot veure afectat tant pel que fa a l'oferta com pel que fa a la demanda.

En el futur s'espera que les tendències observades continuïn, és a dir, que hi hagi una disminució del nombre total de dies de precipitació, que n'augmenti la variabilitat i que disminueixi a la primavera i a l'estiu, cosa que reforçaria els llargs períodes secs de l'estiu (López França *et al.*, 2014). La precipitació total anual podria disminuir, però en aquest aspecte hi ha més incertesa. L'increment de la temperatura seguirà comportant un augment de la demanda evaporativa de l'atmosfera, però la pèrdua d'aigua per evaporació i evapotranspiració dependrà de la massa vegetal i de l'aigua superficial disponible. La disminució de la coberta de neu, tant per la disminució de la precipitació com pel retrocés de les glaceres, afectarà els recursos hídrics de les conques amb un element important d'innivació, com és el cas de la conca l'Ebre. D'altra banda, s'esperen sequeres més freqüents i persistents, especialment cap a la meitat i el final del segle XXI (López Bustins *et al.*, 2013; Barrera Escoda *et al.*, 2013; Jenkins *et al.*, 2014; Forzieri *et al.*, 2014).

Respecte al cabal, l'estudi del CEDEX (2011) assenyalava una disminució de l'escorrentia anual a la conca de l'Ebre de prop del -14 % per a l'escenari A2 i per al període 2041-2070, respecte del període 1961-1990, que en el cas de les conques internes de Catalunya seria del -4 % (2041-2070). Tanmateix, l'impacte sobre el cabal i la sequera pot variar molt regionalment. De les conques que es poden

veure afectades més negativament destaquen les del Ter, el Fluvià i la Muga.

Els efectes de la sequera no solament tindran un impacte en la quantitat d'aigua disponible, sinó que també n'afectaran la qualitat a causa de l'augment de la temperatura i l'increment de la freqüència, la durada i la gravetat de les sequeres. Això és negatiu per als ecosistemes, ja que afectarà els serveis ecosistèmics que ens presten, i per a tots els usuaris de l'aigua. També és probable que la sequera tingui un impacte negatiu en els incendis forestals. Els impactes de la sequera no són només locals; les sequeres que es produeixen a altres indrets del món tenen impactes a Catalunya. Aquests impactes es poden manifestar de diverses maneres: per exemple, per mitjà del preu de l'aigua virtual importada (l'aigua utilitzada per a la producció dels productes i els serveis importats) o per mitjà dels efectes de la inestabilitat que la sequera pugui causar a altres països (com ara migracions o conflictes).

6.3.3. Incendis forestals

En el SICCC ja es va introduir el fet que el nombre d'incendis forestals i l'àrea cremada anualment estaven disminuint, cosa que es justificava per la millora de la prevenció i la gestió del risc. L'anàlisi detallada del període 1970-2010, portada a terme en col·laboració amb el Servei de Prevenció

d'Incendis Forestals de la Generalitat de Catalunya (SPIF), corrobora aquestes observacions (Turco *et al.*, 2013b). Amb l'objectiu d'eliminar l'heterogeneïtat de les sèries, a conseqüència del canvi de criteris en la recopilació d'informació, sols s'han considerat els incendis que han cremat una àrea superior a 0,5 ha. Per poder discriminar la influència dels factors climàtics de tota la resta (com ara la prevenció o l'extinció), es va construir un model de regressió multilinear (MLR) en funció de la precipitació i la temperatura, tant de l'estiu corresponent (figura 6.1) com dels mesos anteriors (particularment, la temperatura i la precipitació de dos anys anteriors).

Aquest model es va aplicar a les dades de la Spain02 (figura 6.4). Els resultats han permès descobrir que la tendència actual expressada en escala logarítmica i obtinguda com la mitjana de mil simulacions és de $-0,042$ incendis/any, però que hauria estat de $+0,016$ incendis/any a conseqüència del forçament climàtic (Turco *et al.*, 2014). Aquesta diferència revela la importància de les tasques d'extinció i de prevenció d'incendis, la millora de les quals ha comportat passar d'una tendència positiva associada al canvi climàtic a una tendència negativa pel que fa al nombre anual d'incendis (Turco *et al.*, 2013b, 2013a). En el cas de l'àrea cremada, en comptes de ser de $-0,049$ ha/any hauria estat de $-0,013$ ha/any (Turco *et al.*, 2014). El fet

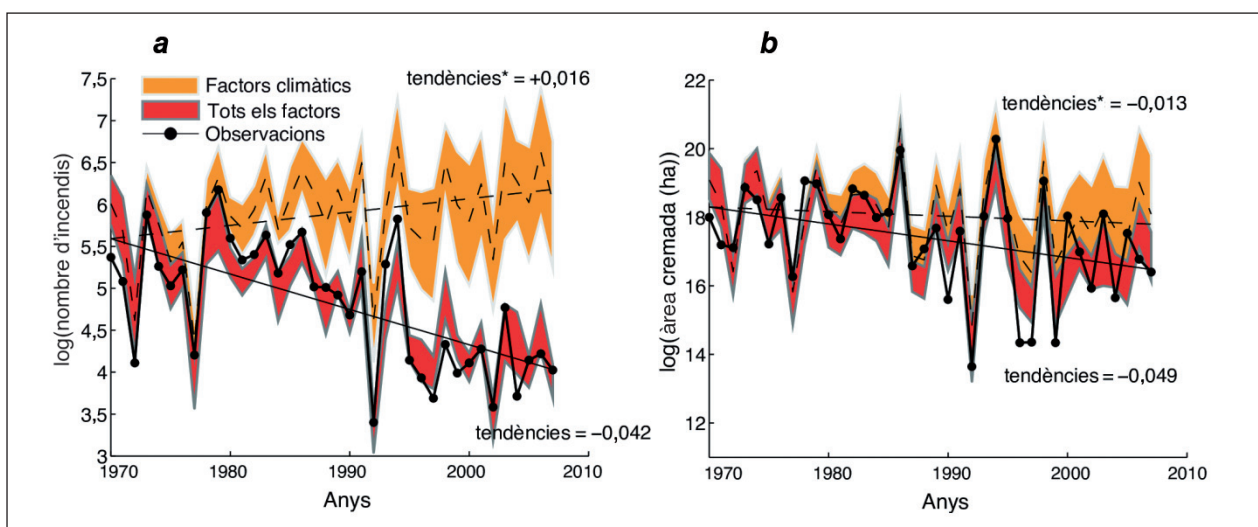


FIGURA 6.4. Evolució del nombre d'incendis forestals (a) i de l'àrea cremada (b) considerant solament la influència dels factors climàtics (banda taronja) i de tots els factors (banda vermella). L'amplitud de la banda dóna una idea del grau d'incertesa i inclou el 90 % de l'interval de confiança de les simulacions fetes a partir dels diversos RCM. Les tendències tenen una significança del 95 % i s'expressen en escala logarítmica (logaritmes naturals).

Font: Figura modificada a partir de Turco *et al.* (2014).

que la tendència de la superfície cremada també sigui lleugerament negativa quan només es considera l'efecte climàtic implica que una inflamabilitat més gran del combustible quedi compensada per un canvi en l'estructura (com és el cas de la matèria fina morta).

Gràcies a aquesta modelització de la part més climàtica dels incendis, s'ha pogut estudiar la possible evolució futura a partir del *downscaling* fet a onze RCM per a l'escenari A1B, suposant que les condicions de prevenció i d'extinció es mantenen com ara (Turco *et al.*, 2014). La figura 6.5 mostra un augment del nombre d'incendis que, per contra, no es detecta en el cas de l'extensió de l'àrea cremada; suposant, en ambdós casos, que les mesures de prevenció i de gestió de l'emergència no canvien. També es mostra la incertesa associada a la dispersió generada pels onze RCM i la incertesa total estimada per mitjà de la realització de mil simulacions a cadascun dels models. La diferència entre ambdues és molt petita, cosa que indica que la dispersió és deguda, principalment, als models regionals. Cal dir que la incertesa és molt elevada quan es tracta dels escenaris de superfície cremada.

Finalment, cal considerar el possible desenvolupament de nous tipus d'episodi, ja sigui en zones on ara no són habituals (com ara els incendis de

mntanya) o bé fora del període d'estiu (com ara els incendis d'hivern i de primavera). Així mateix, el nombre d'episodis excepcionals (com, per exemple, els incendis del juliol del 1994) podria augmentar tenint en compte l'augment de les condicions crítiques a l'estiu. Aquests episodis quedarien dins de la banda d'incertesa ja comentada.

6.4. Riscos geològics

6.4.1. Esllavissades

Al SICCC es va posar de manifest la dificultat de disposar de registres complets de desprendiments rocosos i esllavissaments a causa del caràcter puntual i dispers al territori. Malgrat que aquesta restricció es manté, l'augment de l'accessibilitat al medi i l'existència d'un interès més gran dels experts, dels mitjans de comunicació i del públic en general provoquen que es disposi d'un coneixement més precís dels esdeveniments recents. Així, l'aiguat del 17 i el 18 de juny del 2013 a la Vall d'Aran va poder ser documentat d'una manera immediata pels tècnics de l'Institut Geològic de Catalunya, cosa que va donar com a resultat l'inventari de setanta-dos lliscaments superficials i corrents d'arrossegalls (Oller *et al.*, 2013). A més, les xarxes socials, la premsa comarcal i els cercadors electrònics faciliten l'accés a dades molt valuoses per a la reconstrucció dels esdeveniments, en particular, la documentació gràfica.

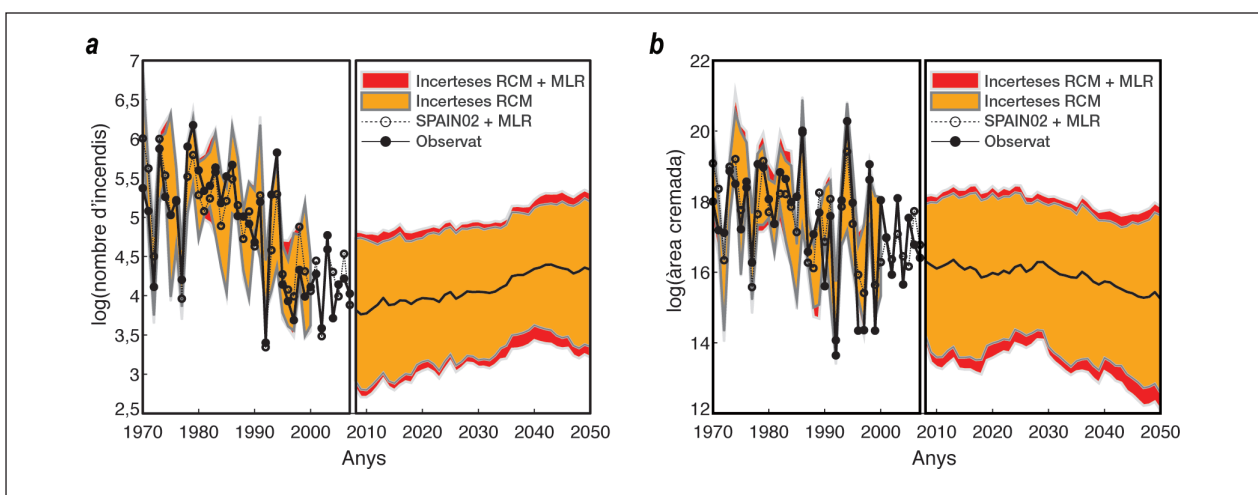


FIGURA 6.5. Evolució present i futura (a) del nombre d'incendis i (b) de l'àrea cremada a Catalunya. La línia negra amb rodones plenes correspon a les observacions i la de les rodones buides, a la modelització a partir de les dades de la Spain02.

La banda taronja mostra el conjunt de sortides del *downscaling* sobre els RCM amb el 90 % d'interval de confiança; la banda vermella mostra les sortides després d'aplicar mil simulacions a cada RCM, i la línia negra contínua és la mitjana mòbil per un interval de deu anys de la mitjana de tots els models.

Font: Figura modificada a partir de Turco *et al.* (2014).

En el mateix sentit, els darrers anys s'ha produït una millora de la qualitat i de la resolució de les observacions. Avui existeixen diverses conques amb instruments de mesurament instal·lats de manera permanent que permeten la detecció de processos i esdeveniments que abans passaven desapercebuts.

6.4.1.1. Observacions recents en la freqüència de desprendiments rocosos i esllavissaments superficials

Els desprendiments rocosos són molt freqüents a les serralades catalanes per la naturalesa de les roques que les componen. Cada any es produeixen diversos casos de caiguda de blocs aïllats i de masses rocoses de pocs centenars de metres cúbics. Nogensmenys, els darrers anys s'han produït desprendiments de cornises de dimensions insòlites, com ara els 20.000 m³ que es van desprendre al vessant nord de la serra de les Deveres, a Paüls, el febrer del 2009; els 5.000 m³ que van caure a la carretera que uneix la Riba amb Vilaverd, el maig del 2013, i els 10.000 m³ que es van desprendre sota el cap de la Fesa, a la cara nord de la serra del Cadí, el novembre del 2011, un volum que va ser àmpliament superat pel desprendiment ocorregut durant la primavera del 2012 al peu de la

serra dels Cortils, a la mateixa serralada, a prop de prats d'Aguiló. Tots aquests desprendiments han estat succeïts per altres de dimensions més petites. La relació entre els desprendiments rocosos i les condicions climàtiques existeix, però en els casos esmentats és molt difícil establir una causa concreta perquè en el desencadenament dels grans desprendiments intervenen altres factors d'una importància similar o superior.

Al segle passat, la presència d'esllavissaments superficials i corrents d'arrossegalls (*debris flows*) només s'havia evidenciat en connexió amb els grans aiguats, com ara els de l'octubre del 1940 i del novembre de 1982, que van deixar un reguitzell de milers de cicatrius de ruptura per tot el territori afectat. Al SICCC s'indicava una ciclicitat d'ordre multidecennal per als esllavissaments superficials, associada amb els grans aiguats i els períodes de pluja extraordinària. En aquests moments ens trobaríem immersos en un cicle d'una activitat relativament baixa d'esllavissades. Els darrers anys, la disponibilitat de nous equips per a l'observació de la Terra i d'instruments moderns de mesurament ha comportat una millora sensible en la quantitat, la qualitat i la resolució de les dades obtingudes. Això ha permès actualitzar i afinar el coneixement

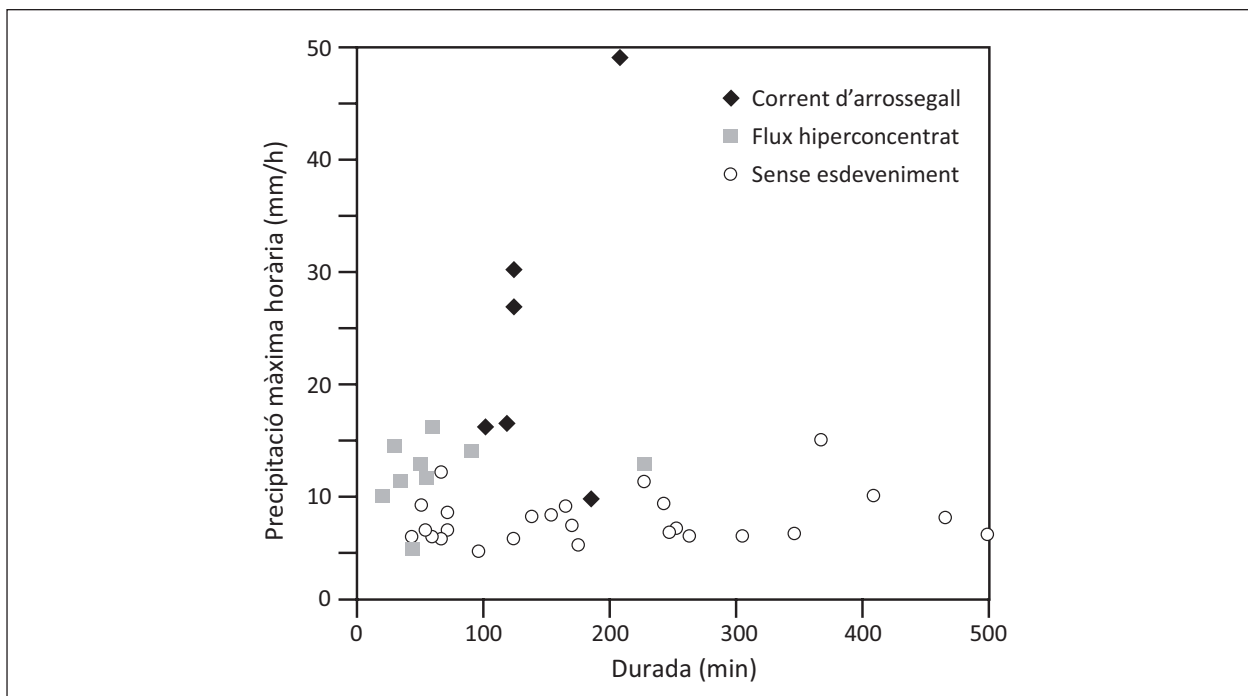


FIGURA 6.6. Esdeveniments de corrents d'arrossegalls, crescudes sobtades, detectats al barranc del Rebaixader, a Senet (Alta Ribagorça) entre l'agost del 2009 i l'agost del 2013.

Font: Figura modificada a partir de Hürlimann *et al.* (2015).

dels ritmes i les característiques de processos com els corrents d'arrossegalls. La instal·lació d'instruments de mesurament a diverses conques de la capçalera de la Noguera Ribagorçana (el barranc del Rebaixader, a Senet) i de la Noguera de Tor (el barranc d'Erill, a Erill la Vall) ha permès registrar esdeveniments de petites dimensions (entre 2.000 m³ i 16.000 m³). Poder disposar de pluviògrafs ha comportat, també, més precisió en la identificació de la intensitat de pluja necessària per a produir-los (figura 6.6). Es requereix un mínim de 10 mm/h per a desencadenar un corrent, si bé la major part es produeix a partir dels 15 mm/h i una durada superior als 90-100 minuts (Hürlimann *et al.*, 2014, 2015).

Aquests llindars de pluja, molt més baixos, confirmen que les primeres estimacions realitzades en aquest sentit (Hürlimann *et al.*, 2003) són coherents amb les anàlisis més recents (Oller *et al.*, 2013; Portilla, 2014) i expliquen, en part, l'augment del nombre d'esdeveniments de caràcter local observats.

6.4.1.2. Observacions recents en la freqüència de grans esllavissaments

Els grans esllavissaments mostren un comportament diferent. La naturalesa poc permeable dels materials, sovint argil·lites o pissarres, comporta que sobretot siguin sensibles als episodis plujosos

de caràcter estacional. A Catalunya no es disposa d'esllavissaments enregistrats que permetin analitzar l'evolució interanual i la tendència dels moviments. Una excepció n'és l'esllavissament de Vallcebre, al Berguedà (Corominas *et al.*, 2005), que és equipat amb un dispositiu d'auscultació des del 1996. La figura 6.7 mostra els desplaçaments acumulats en el període 1997-2012. El registre s'inicia en un any extraordinàriament humit (l'hivern del 1996-1997), i des de llavors la velocitat mitjana no mostra cap canvi de tendència evident, tot i que s'hi aprecien diversos episodis d'estabilització de durada anual, associats amb un dèficit de precipitació.

6.4.2. Allaus de neu

Les allaus són moviments de masses de neu per gravetat que arrenquen en vessants d'un pendent determinant (habitualment, entre 28° i 45°). L'inici de l'allau és degut a una desestabilització en el mantell nival, que tant pot ser superficial com interna, com a resultat del trencament de l'equilibri entre la capacitat de resistència i la sobrecàrrega sobrevinguda. Aquest binomi depèn de l'estratificació del mantell nival, definida pel tipus de gra de neu i el diàmetre, la densitat, la humitat i la duresa de les capes de neu que se superposen. Aquestes variables evolucionen contínuament segons les condicions atmosfèriques: bàsicament, el balanç

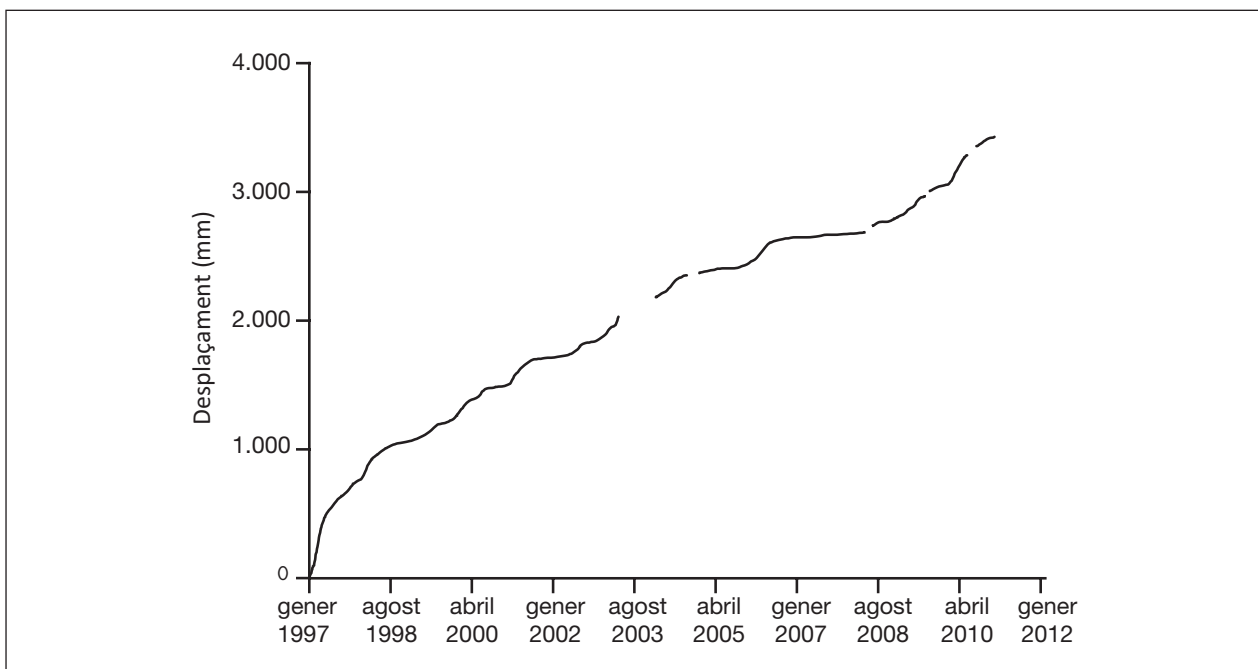


FIGURA 6.7. Desplaçaments acumulats de l'esllavissament de Vallcebre en el període 1996-2012.

energètic del mantell nival i els increments, positius i negatius, del gruix de neu a terra. Per tant, qualsevol canvi en les condicions meteorològiques i climàtiques implica un canvi en les condicions d'estabilitat del mantell nival i de l'ocurrència d'allaus.

El canvi climàtic pot afectar no solament l'ocurrència d'allaus, sinó també la tipologia. Respecte de l'ocurrència d'allaus, els estudis als Pirineus de Catalunya s'han basat en els registres d'activitat de les grans allaus (García-Sellés *et al.*, 2009), les que arriben al fons de la vall amb un caràcter destructiu fort, i s'han negligit les de dimensions mitjanes i petites per evitar heterogeneïtats en les sèries, derivades de la densitat variable de les xarxes observacionals al llarg del segle xx. Si bé en el SICCC (Llebot, 2010), amb les dades publicades fins llavors, no s'observava cap tendència clara pel que fa al nombre i la magnitud de les allaus, estudis recents aporten informacions noves. A partir de la dendrocronologia, d'enquestes a la població i de documentació històrica, s'ha obtingut una sèrie completa d'episodis de grans allaus entre el 1970 i el 2008 (Muntán *et al.*, 2009). Aquesta sèrie mostra una tendència temporal positiva a escala anual, estadísticament significativa, en l'ocurrència de grans allaus per al conjunt dels Pirineus de Catalunya (García-Sellés *et al.*, 2010).

Pel que fa a la tipologia de les allaus, és interessant observar què ha succeït en els darrers decennis i quins escenaris futurs es preveuen d'acord amb els canvis en les condicions climàtiques. La capa-

citada destructiva de les allaus en les infraestructures depèn del tipus de neu involucrada. Simplificant, podem parlar d'allaus de neu seca i d'allaus de neu humida. En els darrers dinou hiverns, i respecte al darrer informe, s'ha observat un augment del nombre i de la magnitud dels episodis d'allaus de neu humida (Oller *et al.*, 2015), tot i que no hi ha prou dades per a parlar de tendències pel que fa a les tipologies (figura 6.8). En aquest sentit, destaquen els cicles de grans allaus humides per pluja dels hiverns 2013-2014 i 2014-2015.

En el darrer quinquenni s'ha avançat en el coneixement de les condicions meteorològiques i climàtiques que desencadenen les grans allaus al Pirineu de Catalunya. A part de detectar-se condicions diferents del mantell nival entre el sector de domini oceànic i el mediterrani, s'ha observat que al sector mediterrani la desestabilització del mantell nival que predisposa a cicles de grans allaus depèn de seqüències de dies freds i secs alhora (ambdós dins del primer quartil), prèvies a nevades no sempre intenses (García-Sellés *et al.*, 2013). Si bé des dels anys setanta fins als noranta s'ha observat una disminució estadísticament significativa dels dies secs i freds, a partir dels anys noranta les condicions que afavoreixen les grans allaus a l'àmbit mediterrani s'han estabilitzat.

Respecte a l'evolució de la sinistralitat per allaus des del darrer informe (Llebot, 2010), en els darrers cinc anys la mitjana anual d'accidents ha pujat de 8,7 a 10 i el nombre de ferits també ha pujat de 2,7 a 4 per

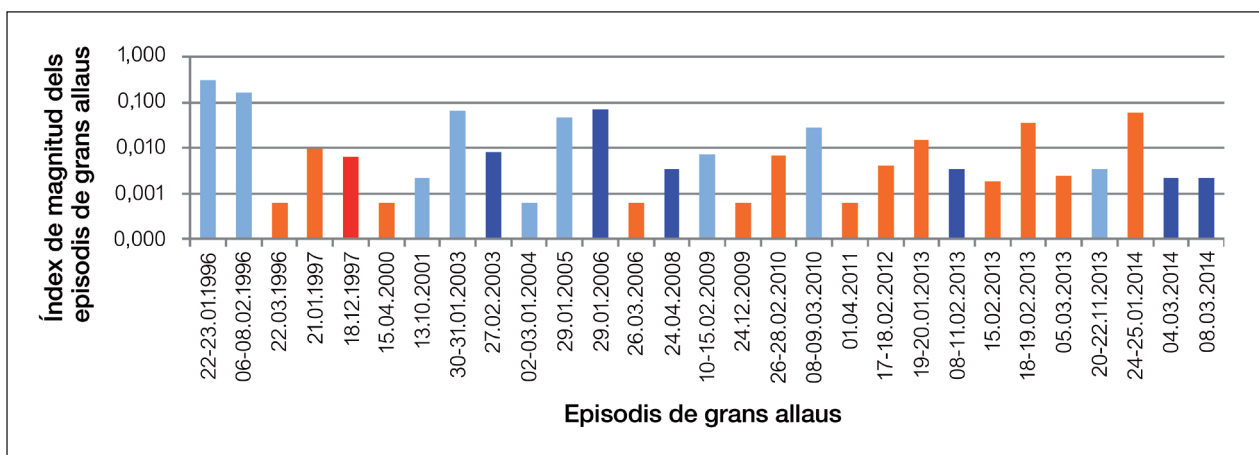


FIGURA 6.8. Evolució de l'índex de magnitud dels episodis de grans allaus observats en els darrers dinou anys i de la dinàmica de les allaus (blau cel: aerosols; blau marí: seca i mixta; vermell: colada de neu, i taronja: humida).

Font: Extret d'Oller *et al.* (2015).

any; contràriament, el nombre de morts ha disminuït d'1,5 a 0,6 per any (dades de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). Aquesta disminució de la mortalitat es podria deure a un augment de l'ús del material bàsic de seguretat, que permet disminuir la durada del temps de rescat i, per tant, augmentar la probabilitat de sobreviure sota la neu.

Pel que fa a l'evolució futura del perill d'allaus, la relació entre aquest risc i el canvi climàtic es pot enfocar des del punt de vista de les modificacions previstes en la circulació general atmosfèrica per als propers decennis. Així, doncs, l'ocurrència de grans allaus s'ha relacionat amb patrons sinòptics de freqüència baixa per tal d'observar quins contextos atmosfèrics afavoreixen l'activitat de grans allaus. Al conjunt dels Pirineus, en els darrers quaranta anys s'ha observat una certa correlació negativa, estadísticament significativa, entre l'ocurrència de cicles de grans allaus i les fases negatives de la NAO (García-Sellés *et al.*, 2009, 2010). No obstant això, a escala regional s'aprecien respostes diverses, ja que el Pirineu més oriental, de domini climàtic mediterrani, manté aquest comportament de més activitat en fases negatives, mentre que el Pirineu més nord-occidental, de domini climàtic oceànic, no mostra cap relació entre l'activitat d'allaus i la NAO. Per tant, projeccions futures del comportament de la NAO poden indicar un possible augment o disminució de l'activitat de grans allaus depenent de la regió. En aquest sentit, durant els darrers decennis s'ha observat un augment de la freqüència de les fases positives de la NAO i, tanmateix, es manté a les sortides de la major part dels models de circulació general atmosfèrica, atès que una part significativa dels canvis observats és atribuïble al forçament antropogènic (IPCC, 2013).

Segons aquestes previsions, caldria pensar en una possible reducció dels cicles de grans allaus als Pirineus durant el segle XXI. No obstant això, a causa de la variabilitat interanual de la NAO s'han observat anys extrems en activitat d'allaus, tant en nombre com en dimensions, durant fases positives a escala decennal, a causa de l'ocurrència d'un hivern amb una fase negativa excepcional (com ara l'hivern del 1995-1996, amb una anomalia de dues desviacions estàndards). Per tant, la incertesa en l'activitat d'allaus futura és molt elevada i no s'han

de descartar anys extrems en activitat d'allaus en els propers decennis.

6.5. Conclusions

Es pot assegurar amb un nivell de confiança molt alt que l'augment de les temperatures extremes i les anomenades *onades de calor* són uns dels efectes del canvi climàtic en què coincideixen tots els escenaris, juntament amb l'augment de les nits tropicals, de les nits i els dies càlids i de la durada de les ratxes càlides. Aquest augment és més elevat a l'estiu i a les zones de muntanya, com també destaca el capítol 4 d'aquest INFORME. Atès que la resposta de les temperatures màximes al canvi climàtic és més marcada que la de les mínimes, hi ha un nivell de confiança alt en l'augment de l'amplitud tèrmica extrema, és a dir, en un desviament cap a un clima més continental.

D'acord amb les conclusions ja presentades en el SICCC, és important destacar amb molta confiança que no hi ha cap tendència significativa i generalitzada del nombre de dies de pluges fortes, ni de la precipitació màxima en vint-i-quatre hores, ni de qualsevol dels índexs relacionats. Per contra, segons les sèries llargues dels observatoris de l'Ebre i Fabra hi ha evidència d'un augment de la precipitació per dia de pluja (cosa que no implica, necessàriament, pluges molt intenses). Es conclou amb una confiança elevada que hi ha un augment de la durada de les ratxes seques, que afecta una gran part de Catalunya, i que és molt probable que aquesta tendència s'agreugi (els models regionals sobre Catalunya coincideixen en l'agreujament d'un 25 % de la tendència observada amb l'índex CDD). Molt probablement l'estació de l'any més castigada serà l'estiu, quan l'augment de les temperatures extremes i la disminució de la precipitació són més marcats, i la menys afectada, l'hivern. Considerant, també, l'evolució de la precipitació convectiva, es pot concloure que hi ha evidència d'un augment de la torrencialitat i de la freqüència dels dies amb pluges molt intenses, que és més probable que no hi hagi una reducció de ratxes de dies de pluja continuats i que és molt probable l'augment de la ratxa de dies seguits sense pluja. No hi ha cap evidència d'un augment o d'una disminució del nombre d'episodis de nevades excepcionals.

No hi ha cap evidència concloent que el nombre d'episodis que ocasionen inundacions importants estigui augmentant, però es pot concloure amb un nivell de confiança alt que el nombre d'episodis que produeixen inundacions locals augmenta des de mitjan segle XIX, probablement a causa de l'augment de l'exposició i la vulnerabilitat. Tanmateix, es detecta un augment recent del nombre d'episodis a l'estiu, que també es podria relacionar amb l'increment de la torrencialitat de la pluja, si bé encara no hi ha prou evidències. Amb vista al futur els escenaris no són concloents, però si es produís un augment de les precipitacions torrencials, juntament amb un augment de la vulnerabilitat, l'exposició i els canvis d'usos del sol, el risc d'inundacions s'incrementaria significativament.

Hi ha un nivell de confiança molt alt sobre el fet que la sequera augmenta i seguirà augmentant en freqüència, intensitat i durada al llarg del segle XXI. Els sòls seran més secs a la primavera i el període sec estival s'allargarà, cosa que afectarà els ecosistemes i l'agricultura. Els recursos hídrics disminuiran i n'augmentarà la variabilitat, de manera que es disposarà de menys eines per a fer cara a les sequeres. Hi haurà menys cabal disponible, el volum de neu emmagatzemada al Pirineu serà més petit i el desglaç s'avançarà. També és possible que augmenti la demanda d'aigua de l'agricultura durant els períodes secs, de manera que es produirà un increment de l'estrès causat per una oferta més petita de recursos i una demanda més gran. La qualitat de l'aigua també serà afectada per les sequeres futures.

Es conclou amb un nivell de confiança molt alt que el nombre d'incendis forestals per sobre de 0,5 ha disminueix, possiblement a causa d'una millora en les bones pràctiques, tant en la prevenció com en la predicció. Per contra, les condicions climàtiques i l'augment de la massa forestal afavoririen una tendència positiva. Tanmateix, i mantenint les mateixes mesures, les condicions més extremes de temperatura, humitat i precipitació previstes pels escenaris apunten cap a un augment del nombre d'incendis. L'augment de situacions excepcionals pot afavorir una freqüència més gran d'incendis de gran extensió (com, per exemple, el del juliol del 1994), així com l'existència d'incendis en zones on ara no són habituals (com ara els

incendis de muntanya) o fora del període d'estiu (com ara els incendis d'hivern i de primavera).

Es pot concloure amb un nivell de confiança alt que l'ocurrència d'esllavissades, desprendiments de roques i corrents d'arrossegalls d'abast local és un fenomen més freqüent del que es pensava, ja que en algunes conques té una periodicitat anual. A hores d'ara no es considera que aquest augment de freqüència sigui el resultat de cap variació en la intensitat i/o la durada de les pluges. L'augment de la freqüència d'esdeveniments enregistrats pot ser degut, en part, a l'interès de la premsa comercial, especialment la que s'expressa en format digital, cosa que implica que l'increment notable de les referències a esllavissades i desprendiments no estigui relacionat necessàriament amb un increment de la freqüència d'aquests fenòmens. Cal afegir, també, que la instal·lació d'instruments a conques experimentals ha permès disposar d'una informació molt més precisa que permet modificar clarament a la baixa els llindars de pluja desencadenants d'esllavissades fins ara coneguts.

En els estudis sobre allaus endegats en els darrers cinc anys es pot concloure, tot i que d'una manera preliminar, que hi ha una evidència elevada d'una tendència cap a l'augment del nombre de cicles de grans allaus al Pirineu de Catalunya des del decenni del 1970, i que recentment també han augmentat les allaus de neu humida, especialment per episodis de pluges a la meitat de l'hivern. D'altra banda, es manté l'increment del nombre d'accidents per allaus, a causa d'un augment de l'exposició de persones en àmbits d'alta muntanya hivernals, tot i que disminueix el nombre de víctimes mortals. Probablement, la disminució de la mortalitat és deguda a una percepció més gran del risc per part dels practicants d'activitats d'oci i laborals a l'alta muntanya, que integren els protocols de seguretat i d'autoprotecció a les conductes, cosa que representa un avenç en les mesures d'adaptació respecte dels anys anteriors. Pel que fa a l'evolució del perill d'allaus, s'han identificat diferències regionals entre els àmbits de clima oceànic i mediterrani. Al conjunt dels Pirineus s'ha observat, en els darrers quaranta anys, una correlació negativa, estadísticament significativa, entre l'ocurrència de cicles de grans allaus i l'índex de la NAO, però aquesta correlació no existeix en

l'àmbit oceànic. Durant els darrers decennis s'ha observat un augment de la freqüència de les fases positives de la NAO, que, tanmateix, es manté segons la major part de models de circulació general atmosfèrica, fet que implicaria una disminució de l'activitat de grans allaus. No obstant això, a causa de la variabilitat interanual de la NAO s'han observat anys extrems en activitat d'allaus per l'ocurrència d'un hivern amb fase negativa durant fases positives d'escala decennal.

6.6. Recomanacions

El canvi climàtic pot tenir conseqüències directes, i alterar el grau de perillositat de la major part dels riscos d'origen meteorològic, o bé indirectes, i afectar la vulnerabilitat i el grau d'exposició. A més, es pot produir un efecte de retroalimentació. És necessari, per tant, desenvolupar una visió holística i considerar el canvi des d'una perspectiva global. Es proposa, entre altres mesures, la integració de l'adaptació al canvi climàtic, la reducció dels desastres en els processos de planificació territorial i sectorial, i l'establiment de comissions interdepartamentals per a la reducció del risc que assegurin la coordinació intersectorial de totes les parts interessades (un model conegut com a *multistakeholder*).

És necessari avançar en el coneixement de l'afectació present i futura del canvi climàtic als riscos naturals de Catalunya, millorar les observacions, completar les sèries de dades, analitzar les sinergies de diferents riscos (com, per exemple, la pujada del nivell del mar i les inundacions) i aplicar els escenaris més recents i la predicció decennal a fenòmens més complexos, com ara les inundacions, la sequera o els temporals de vent. Aquesta recerca exigeix una transferència de coneixement per a cobrir les mancances existents en matèria de gestió del risc dels sectors més sensibles a les variacions climàtiques, així com per a millorar la conscienciació i la corresponsabilitat de la població, utilitzant nous camins, com ara la ciència ciutadana. Els programes de sensibilització seran particularment importants en zones o sectors de la població molt vulnerables, com ara les zones inundables o la gent gran envers l'augment de les onades de calor.

És necessari millorar l'aplicació d'eines que han demostrat efectivitat als riscos que seran incre-

mentats pel canvi climàtic (com ara l'avaluació de la vulnerabilitat i el risc, els sistemes d'alerta primerenca, la planificació del territori o l'elaboració d'un codi de regulació i de mesures legals i institucionals). Un exemple del poder d'aquestes eines per a mitigar l'augment del risc causat pel canvi climàtic és el cas dels incendis forestals, que, malgrat això, a causa de l'agreuiment de les condicions climàtiques també exigiran noves actuacions per a la millora de la prevenció i l'extinció.

Respecte al risc d'allaus, hi ha dues línies bàsiques de recomanacions. D'una banda, caldria avançar en el coneixement i l'evolució del fenomen per mitjà del manteniment i la potenciació del monitoratge, tant del mantell nival com de les condicions meteorològiques per sobre dels 2.000 m, en la predicció del fenomen. D'altra banda, cal avançar en la formació dels col·lectius exposats a aquest risc, tant la població fixa com la itinerant, mitjançant la pedagogia, la percepció del risc i la generació d'informació, sigui d'accés generalitzat o bé adreçada a les diferents necessitats de la presa de decisions (com ara l'urbanisme, la seguretat laboral, l'oci i el turisme).

Catalunya ha de seguir treballant en la millora dels mecanismes de governança i gestió de l'aigua per a evitar conflictes causats per sequeres més freqüents i intenses, que es produiran en un context en el qual hi haurà menys recursos hídrics disponibles. Per això, cal millorar el coneixement que tenim de les sequeres, tant les passades com les futures, de les propietats físiques i dels impactes socioeconòmics. Per a aconseguir-ho, calen una reanàlisi d'alta resolució del cicle de l'aigua continental i escenaris climàtics centrats en aquest cicle i la sequera. També cal treballar en nous estudis que tinguin la sequera com a objecte central i que integrin aproximacions des de dalt (*top-down*; com, per exemple, aproximacions a partir de la física) i des de baix (*bottom-up*; com, per exemple, a partir de consideracions socioeconòmiques), per tal d'obtenir una visió completa i integrada dels processos rellevants.

Cal intensificar l'ús de les eines d'observació de la Terra, en particular la interferometria radar i la fotogrametria digital, que permet detectar les deformacions i l'evolució amb una resolució elevada.

D'aquesta manera, es disposarà d'una imatge més real de l'activitat i la freqüència de les esllavissades. També cal millorar la documentació disponible sobre la distribució territorial i temporal dels despreniments rocosos i les esllavissades, i promocionar i difondre bases de dades com ara el LLISCAT.

Els Pirineus, per l'augment de temperatures i la reducció del nombre de dies de gelada, i la vall de l'Ebre, per l'augment notable de nits tropicals i del perllongament de les ratxes seques, es podrien considerar «punts calents» (hot-spots) de l'impacte del canvi climàtic sobre els extrems climàtics a Catalunya. La franja costanera, sobretot les comarques més afectades habitualment per inundacions sobtades, també constitueix una zona d'especial interès tenint en compte l'increment de les precipitacions torrencials, principalment a l'estiu.

Referències bibliogràfiques

- BAIC 2013 = *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics: Any 2013* (2014) [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Servei Meteorològic de Catalunya. Àrea de Climatologia. Equip de Canvi Climàtic. <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2014/11/19091941/00_BAIC2013_Complet.pdf> [Consulta: 17 febrer 2016].
- BARBERÍA, L.; AMARO, J.; ARAN, M. [et al.] (2016). «The role of different factors related to social impact of heavy rain events: Considerations about the intensity thresholds in densely populated areas». *Natural Hazards Earth Systems Sciences*, 14, p. 1843-1852
- BARREDO, J. I.; SAURÍ, D.; LLASAT, M. C. (2012). «Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971-2008». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12, p. 1723-1729.
- BARRERA-ESCODA, A.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, D. [et al.] (2014). «Projections of temperature and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050)». *Climatic Change*, 122, p. 567-582.
- BARRERA-ESCODA, A.; LLASAT, M. C. (2015). «Evolving flood patterns in a Mediterranean region (1301-2012) and climatic factors: The case of Catalonia». *Hydrology and Earth Systems Science*, 19, p. 465-483.
- BECH, J.; ARÚS, J.; CASTÁN, S. [et al.] (2015). «A study of the 21 March 2012 tornadic quasi linear convective system in Catalonia». *Atmospheric Research*, 158-159, p. 192-209.
- BECH, J.; PINEDA, N.; RIGO, T. [et al.] (2012). «Remote sensing analysis of a Mediterranean thundersnow and low altitude heavy snowfall event». *Atmospheric Research*, 123, p. 305-322.
- BENISTON, M.; UHLMANN, B.; GOYETTE, S. [et al.] (2011). «Will snow-abundant winters still exist in the Swiss Alps in an enhanced greenhouse climate?». *International Journal of Climatology*, 31, p. 1257-1263.
- CEDEX = CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (2011). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural. Resumen ejecutivo. Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (MARM) al CEDEX para el estudio del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua* [en línia]. <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/Memoria_encomienda_CEDEx_tcm7-165767.pdf> [Consulta: 17 febrer 2016].
- COROMINAS, J.; MOYA, J.; LEDESMA, A. [et al.] (2005). «Prediction of ground displacements and velocities from level changes at the Vallcebre landslide (Eastern Pyrenees, Spain)». *Landslides*, 2, p. 83-96.
- FORZIERI, G.; FEYEN, L.; ROJAS, R. [et al.] (2014). «Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe». *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), p. 85-108.
- GALLART, F.; DELGADO, J.; BEATSON, S. J. V. [et al.] (2011). «Analysing the effect of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain)». *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(13), p. 655-661.
- GARCÍA-SELLÉS, C. MANGUÁN, S.; MARTÍ, G. [et al.] (2013). «Combined temperature - precipitation winter modes and major avalanche activity in the Eastern Pyrenees». *Proceedings of the International Snow Science Workshop*. Grenoble, p. 1264-1269.

- GARCÍA-SELLÉS, C.; MARTÍ, G.; OLLER, P. [et al.] (2009). «Major avalanche occurrence at regional scale and related atmospheric circulation patterns in the Eastern Pyrenees». *Cold Regions Science and Technology*, 59, p. 106-118.
- GARCÍA-SELLÉS, C.; PEÑA, J. C.; MARTÍ, G. [et al.] (2010). «WeMOi and naoi influence on major avalanche activity in the Eastern Pyrenees». *Cold Regions Science and Technology*, 64, p. 137-145.
- GAYÀ, M. (2015). *Els fiblons a Espanya: Climatologia i catàleg de tornados i trombes*. Mallorca: Edicions UIB.
- GAYÀ, M.; LLASAT, M. C.; ARÚS, J. (2011). «Tornadoes and waterspouts in Catalonia (1950-2009)». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 11, p. 1875-1883.
- GUIJARRO, J. A.; JANSÀ, A.; CAMPINS, J. (2006). «Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean». *Advances in Geosciences*, 7, p. 45-49.
- HALL, J.; ARHEIMER, B.; BORGA, M. [et al.] (2013). «Understanding flood regime changes in Europe: A state of the art assessment». *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, p. 15525-15624.
- HERRERA, S.; GUTIÉRREZ, J. M.; ANCELL, R. [et al.] (2012). «Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02)». *International Journal of Climatology*, 32(1), p. 74-85.
- HÜRLIMANN, M.; ABANCÓ, C.; MOYA, J. (2015). «Debris flow monitoring at the Rebaixader torrent, Central Pyrenees, Spain. Results on initiation, volumes and dynamic behaviour». A: LOLLINO, G.; GIORDAN, D.; CROSTA, G. B. [et al.] (ed.). *Engineering Geology for society and Territory*. Vol. 2. Cham: Springer International, p. 469-472.
- HÜRLIMANN, M.; ABANCÓ, C.; MOYA, J. [et al.] (2014). «Results and experiences gathered at the Rebaixader debris-flow monitoring site, Central Pyrenees, Spain». *Landslides*, 11, p. 939-953.
- HÜRLIMANN, M.; COROMINAS, J.; MOYA, J. [et al.] (2003). «Debris-flows events in the Eastern Pyrenees, Spain: Preliminary study on initiation and propagation». A: *3rd International conference on debris-flow hazards mitigation*. Davos (Suïssa): Balkema, p. 115-126.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX)*. Edició de C. B. Field, V. R. Barros, T. F. Stocker [et al.] Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf> [Consulta: 17 febrer 2016].
- (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>> [Consulta: 17 febrer 2016].
- (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de C. B. Field, V. R. Ramos, D. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>> [Consulta: 17 febrer 2016].
- JANSA, A.; ALPERT, P.; ARBOGAST, P. [et al.] (2014). «MEDDEX: A general overview». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 14, p. 1965-1984.
- JENKINS, K.; WARREN, R. (2014). «Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index». *Theoretical and Applied Climatology*, 120(1-2), p. 41-54.
- KENAWY, A.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; VICENTE-SERRANO, S. M. (2012). «Summer temperature extremes in northeastern Spain: Spatial regionalization and links to atmospheric circulation (1960-2006)». *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3-4), p. 387-405.
- LINDEN, P. VAN DER; MITCHELL, J. F. B. (ed.) (2009). *ENSEMBLES: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Exeter: Met Office Hadley Centre. També disponible en línia a: <http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf> [Consulta: 17 febrer 2016].
- LLASAT, M. C.; COROMINAS, J. (2010). «Riscos associats al clima». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe*

- sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 243-307.
- LLASAT, M. C.; LLASAT-BOTIJA, M.; LÓPEZ, L. (2009). «A press database on natural risks and its application in the study of floods in northeastern Spain». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 9, p. 2049-2061.
- LLASAT, M. C.; MARCOS, R.; LLASAT BOTIJA, M. [et al.] (2014a). «Flash flood evolution in North-Western Mediterranean». *Atmospheric Research*, 149, p. 230-243.
- LLASAT, M. C.; MARCOS, R.; TURCO, M. [et al.] (2016, en premsa). «Flash floods trends versus convective precipitation in a Mediterranean region». *Journal of Hydrology*.
- LLASAT, M. C.; QUERALT, A. (2012). *L'impacte potencial del canvi climàtic en la planificació, prevenció i gestió d'emergències a Catalunya* [en línia]. Informe del CADS 10/2012. <http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Informes/2012_1_Informe-Risc-i-canvi-climatic_DEF.pdf> [Consulta: 17 febrer 2016].
- LLASAT, M. C.; TURCO, M.; QUINTANA-SEGÚI, P. [et al.] (2014b). «The snow storm of 8 March 2010 in Catalonia (Spain): A paradigmatic wet-snow event with a high societal impact». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 14, p. 427-441.
- LLEBOT, J. E. (ed.) (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; PASCUAL, D.; PLA, E. [et al.] (2013). «Future variability of droughts in three Mediterranean catchments». *Natural Hazards*, 69(3), p. 1405-1421.
- LÓPEZ-FRANCA, N.; SÁNCHEZ, E.; ROMERA, R. [et al.] (2014). «Análisis de periodos secos en la cuenca Mediterránea en clima presente y condiciones de cambio climático a partir de modelos regionales de clima del proyecto ENSEMBLES». *Física de la Tierra*, 25, p. 123-136.
- LÓPEZ-MORENO, J. I.; VICENTE-SERRANO, S. M.; MORÁN-TEJEDA, E. [et al.] (2011). «Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin». *Hydrology and Earth Systems Science*, 15(1), p. 311-322.
- LORENZO-LACRUZ, J.; VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I. [et al.] (2012). «Recent trends in Iberian streamflows (1945-2005)». *Journal of Hydrology*, 414-415, p. 463-475.
- LUIS, M. DE; BRUNETTI, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. [et al.] (2010). «Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005». *Global and Planetary Change*, 74(1), p. 27-33.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; SÁNCHEZ, N.; HERRERO-JIMÉNEZ, C. M. [et al.] (2013). «Recent trends in rivers with near-natural flow regime: The case of the river headwaters in Spain». *Progress in Physical Geography*, 37(5), p. 685-700.
- MOFFA-SÁNCHEZ, P.; BORN, A.; HALL, I. R. [et al.] (2014). «Solar forcing of North Atlantic surface temperature and salinity over the past millennium». *Nature Geoscience*, 7, p. 275-278.
- MORÁN-TEJEDA, E.; HERRERA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. [et al.] (2012). «Evolution and frequency (1970-2007) of combined temperature-precipitation modes in the Spanish mountains and sensitivity of snow cover». *Regional Environmental Change*, 13(4), p. 873-885.
- MUNTÁN, E.; GARCÍA, C.; OLLER, P. [et al.] (2009). «Reconstructing snow avalanches in the South-eastern Pyrenees». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 9, p. 1599-1612.
- OLLER, P.; MUNTAN, E.; GARCIA, D. [et al.] (2015). «Characterizing major avalanche episodes in space and time in the twentieth and early twenty-first centuries in the Catalan Pyrenees». *Cold Regions Science and Technology*, 110, p. 129-148.
- OLLER, P.; PINYOL, J.; GONZÁLEZ, M. [et al.] (2013). «Efectes geomorfològics de la riuada del 18 de juny de 2013». A: *Jornades de Gestió de les Inundacions*. Barcelona: Agència Catalana de l'Aigua: Institut Geològic de Catalunya, p. 126-132.
- PINEDA, N.; BECH, J.; RIGO, T. [et al.] (2011). «A mediterranean nocturnal heavy rainfall and tornadic event. Part II: Total lightning analysis». *Atmospheric Research*, 100(4), p. 638-648.
- PORTILLA, M. (2014). *Reconstrucción y análisis de ocurrencias regionales de múltiples eventos de movimientos en masa generados por lluvias históricas en los Pirineos*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

- RIGO, T.; LLASAT, M. C. (2016) «Hail size forecasting by using parameters of convective cells identified using radar». *Atmospheric Research*, 169, p. 366-376.
- RÍO, S. DE; HERRERO, L.; PINTO-GOMES, C. [et al.] (2011). «Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006». *Global and Planetary Change*, 78(1-2), p. 65-75.
- SOUSA, P. M.; TRIGO, R. M.; AIZPURUA, P. [et al.] (2011). «Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean». *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(1), p. 33-51.
- TOUS, M.; GENOVES, A.; CAMPINS, J. [et al.] (2009). «Mediterranean cyclones in a changing climate: Results from JMA-GSM model». Plinius Conference on Mediterranean Storms, Barcelona.
- TURCO, M.; LLASAT, M. C. (2011). «Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain) 1951-2003». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 11, p. 3213-3226.
- TURCO, M.; LLASAT, M. C.; HARDENBERG, J. VON. [et al.] (2013a). «Impact of climate variability on summer fires in a Mediterranean Environment (Northeastern Iberian Peninsula)». *Climatic Change*, 116(3), p. 665-678.
- (2014). «Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment». *Climatic Change*, 125, p. 369-380.
- TURCO, M.; LLASAT, M. C.; TUDELA, A. [et al.] (2013b). «Decreasing fires in a Mediterranean region (1970-2010, NE Spain)». *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 13, p. 649-652.
- TURCO, M.; SANNA, A.; HERRERA, S. [et al.] (2013c). «Large biases and inconsistent climate change signals in ENSEMBLES regional projections». *Climatic Change*, 120(4), p. 859-869.
- (2015). «Evaluation of the ENSEMBLES transient RCM simulations over Spain: Present climate performance and future projections». A: LOLLINO, G.; MANCONI, A.; LOCAT, J. [et al.] (ed.). *Engineering Geology for Society and Territory*. Vol. 1. Cham: Springer International, p. 199-203.
- ULBRICH, U.; XOPLAKI, E.; DOBRICIC, S. [et al.] (2013). «Past and current climate changes in the Mediterranean Region». A: NAVARRA, A.; TUBIANA, L. (ed.). *A: Regional assessment of climate change in the Mediterranean*. Dordrecht: Springer, p. 9-52.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; AZORÍN-MOLINA, C.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. [et al.] (2014). «Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011». *Global and Planetary Change*, 121, p. 26-40.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; BEGUERÍA, S. [et al.] (2014). «Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe». *Environmental Research Letters*, 9(4), p. 044001.
- WMO = WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2009). *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Technical Report WCDMP núm. 72 / WMO-TD núm. 1.500. Ginebra: WMO.

7 Recursos hidrològics

Autors

Josep Mas-Pla

Ramon J. Batalla

Àngels Cabello

Francesc Gallart

Pilar Llorens

Diana Pascual

Eduard Pla

Laurent Pouget

Anabel Sánchez

Montserrat Termes

Laura Vergonyós

Josep Mas-Pla és hidrogeòleg, doctor en ciències geològiques i doctor en hidrologia i recursos hídrics. Actualment, és professor a la Universitat de Girona, on és responsable del Grup de Recerca en Geologia Aplicada i Ambiental (SGR 429). És investigador sènior a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua. La recerca que duu a terme es desenvolupa en el camp de la hidrogeologia, en els aspectes quantitius i qualitius dels recursos hídrics, i ha aprofundit en la dinàmica dels aqüífers regionals i en la contaminació d'origen agrícola (nitrats, contaminants emergents) de l'aigua subterrània. Ha participat en els dos informes anteriors sobre el canvi climàtic a Catalunya.

Ramon J. Batalla és geomorfòleg, doctor en geografia per la Universitat de Barcelona. És professor de geografia física a la Universitat de Lleida des del 1996. És investigador sènior adscrit a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua. Dirigeix el Grup de Recerca de Dinàmica Fluvial (SGR 645). Treballa en l'anàlisi de processos biofísics fluvials, especialment pel que fa al transport de sediments, i quina influència té en les comunitats d'invertebrats bentònics. També investiga els efectes del canvi global en els recursos hídrics i la dinàmica dels rius i estudia el comportament hidro-sedimentari dels grans rius regulats.

Àngels Cabello és enginyera de camins especialitzada en hidràulica i té tretze anys d'experiència en el

sector de l'aigua. Ha estat investigadora de l'equip d'Anàlisi dels Impactes del Canvi Global, a Cetaqua, i ha participat en diversos projectes europeus relacionats amb la gestió de riscos d'inundacions i sequeres.

Francesc Gallart és doctor en ciències geològiques i es dedica a la recerca de temes de geomorfologia i hidrologia en el CSIC des de l'any 1982. La línia de recerca que desenvolupa se centra en l'estudi dels processos hidrològics i erosius, principalment a les conques de recerca de Vallcebre (Alt Berguedà).

Pilar Llorens és doctora en geografia i investigadora a l'Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua del CSIC. La principal línia de recerca que desenvolupa és l'ecohidrologia, concretament l'estudi de les interrelacions entre la vegetació i els processos hidrològics i el paper que tenen en el balanç hídric a diferents escales espaciotemporals. Les investigacions, les porta a terme principalment a les conques de Vallcebre.

Diana Pascual és enginyera de boscos per la Universitat de Lleida. Des del 2009 treballa com a tècnica al CREAM, on estudia els efectes del canvi global en l'ús de l'aigua i en els ecosistemes forestals. Ha participat recentment en els projectes ACCUA i CLICO (FP7). Actualment, s'encarrega de la coordi-

nació tècnica del projecte Life+ MEDACC i col·labora activament en el projecte BeWater (FP7).

Eduard Pla és llicenciat en ciències ambientals i doctor en ecologia per la Universitat Autònoma de Barcelona. Des del 2002 treballa com a investigador al CREAF, on estudia els efectes del canvi global en els ecosistemes mediterranis i l'ecologia del foc. Actualment, la recerca s'orienta cap a l'anàlisi de la vulnerabilitat al canvi global en l'ús de l'aigua i la definició de mesures d'adaptació.

Laurent Pouget és expert en enginyeria hidràulica i té deu anys d'experiència en gestió i planificació de recursos hídrics, inundacions fluvials i xarxes de drenatge i clavegueram. És investigador de l'equip d'Anàlisi dels Impactes del Canvi Global, a Cetaqua, i ha participat en diversos projectes europeus, com, per exemple, el Life+ Water Change o el FP7 EUPORIAS.

Anabel Sánchez és llicenciada en biologia per la Universitat de Barcelona. Des del 1996 treballa al

CREAF, on participa en diversos projectes per a quantificar el balanç de carboni i aigua als boscos mediterranis i europeus, avaluar l'impacte del canvi climàtic en els serveis dels ecosistemes forestals i identificar estratègies de gestió sostenible i de mitigació i adaptació al canvi global. Actualment, analitza la vulnerabilitat al canvi global en l'ús de l'aigua i la definició de mesures d'adaptació (projecte Life+ MEDACC) i coordina el projecte BeWater (FP7).

Montse Termes és professora titular a la Facultat d'Economia i Administració d'Empreses de la Universitat de Barcelona i directora científica de l'equip de Recerca en Aigua, Economia i Societat, a Cetaqua. És experta en economia del sector públic, economia urbana i regional i economia de l'aigua.

Laura Vergonyós és llicenciada en ciències ambientals i màster en tecnologies de la informació geogràfica. Treballa com a tècnica en sistemes d'informació geogràfica aplicats a estudis de recursos i ecosistemes a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua.

Sumari

Síntesi	164
7.1. Introducció	165
7.2. Estimació dels efectes del canvi global en els recursos hídrics	166
7.2.1. Efectes en l'escolament superficial.....	166
7.2.2. Efectes en la recàrrega dels aqüífers.....	168
7.2.3. Efectes de l'augment del nivell del mar a les planes litorals i deltaïques	169
7.3. Relació entre recursos hídrics i demanda d'aigua a Catalunya en el marc del canvi global	170
7.4. Efectes del canvi en els components hidrològics i els recursos hídrics al segle XXI.....	171
7.4.1. Càlcul de l'afecció i de la distribució per conques hidrogràfiques	172
7.4.2. Valoració dels efectes climàtics en la disponibilitat de recursos	179
7.5. Conclusions	182
7.6. Recomanacions	183
Referències bibliogràfiques	185

Síntesi

Els efectes del canvi climàtic en la disponibilitat de recursos hídrics a Catalunya constitueixen un dels impactes clau per al desenvolupament del país durant els decennis vinents. La importància de l'aigua en les necessitats humanes i en el manteniment dels ecosistemes converteix els recursos hídrics en un dels components més rellevants pel que fa a la sostenibilitat territorial. Diferents estudis i projectes realitzats a Catalunya en els darrers anys determinen que els canvis en els processos hidrològics són el resultat tant de les variacions climàtiques com d'efectes antròpics i, entre d'altres, del canvi d'usos del sòl. Tots aquests estudis, amb diferents metodologies i perspectives (hidrològiques, ecològiques i socioeconòmiques), coincideixen a l'hora de pronosticar un escenari d'escassetat hídrica que requereix mesures d'adaptació.

Aquest capítol presenta, complementàriament, unes cartografies de l'efecte de les projeccions climàtiques en els recursos hídrics, conceptualment anomenats *aigua blava*, realitzades per al conjunt de subconques de Catalunya. Aquestes aproxima-

cions, les quals tenen relació amb les variacions de temperatura i de precipitacions estimades per als horitzons del 2021 i del 2051 i amb la distribució actual dels usos del sòl a cada subconca, assenyalen reduccions importants de la disponibilitat dels recursos hídrics, amb una zonació marcada. A grans trets, indiquen una reducció mitjana propera al 10 % a les conques pirinenques i un màxim del 22 % a les conques litorals al 2051. Aquesta reducció es manifestarà a curt termini dins dels horitzons que han estat tinguts en compte.

En aquest procés d'adaptació, cal destacar el paper de les capçaleres pirinenques com a àrees fonamentals d'abastament. Per a afrontar l'escassetat dels recursos hídrics caldrà promoure una gestió integrada del territori que tingui en compte un replantejament de les infraestructures, de les connexions, de l'ús de recursos alternatius i de la distribució territorial dels recursos per a les diferents necessitats.

Paraules clau

balanç hídric, aigua superficial, aigua subterrània, escassetat hídrica, vulnerabilitat

7.1. Introducció

Els informes internacionals i nacionals sobre el canvi climàtic coincideixen a l'hora d'assenyalar que l'augment en la variabilitat de la disponibilitat dels recursos hídrics serà un dels fenòmens més rellevants als quals caldrà que ens adaptem. Les regions de clima mediterrani es caracteritzen pel fet de tenir una variabilitat hidroclimàtica important (Conacher i Sala, 1992) i, per tant, es preveu que seran especialment sensibles a la variabilitat i a l'escassetat més grans de recursos hídrics que representaran els nous escenaris climàtics (Martín-Vide *et al.*, 2011). La disminució dels recursos hídrics afecta molts i diversos elements del medi natural i del territori, com, per exemple, la disponibilitat d'aigua per a satisfer la demanda per a usos varis, la producció energètica i, de manera notable, la dinàmica biofísica dels sistemes fluvials (per exemple, la interacció entre aigües superficials i subterrànies a les lleres, el transport de sediments i la qualitat dels hàbitat riberencs) i d'altres sistemes associats, com ara platges i deltes.

Fer compatible la garantia d'aigua per a satisfer les diferents demandes i el manteniment del bon estat hidromorfològic i ecològic dels rius, tal com indica la Directiva marc de l'aigua (Directiva 2000/60/CE), requereix tenir un coneixement exhaustiu de la quantitat i qualitat dels recursos hídrics disponibles i de les necessitats econòmiques, socials i ambientals que s'hi associen. Els escenaris climàtics previstos per a Catalunya indiquen de manera clara que l'escassetat de recursos hídrics serà el principal objectiu al qual caldrà adaptar les polítiques de gestió hídrica i ambiental (ACA, 2015).

El canvi climàtic i els efectes que té són dos dels elements principals dins l'anomenat *canvi global*, fet que engloba no solament el clima, sinó també els canvis en els usos del sòl i la gestió de les conques, els rius i els aqüífers duts a terme durant el segle xx. Aquests canvis han modificat el balanç hídric global, regional i de conca, de manera que les conseqüències són equiparables a les repercussions que tenen les variacions en la temperatura i les precipitacions (IPCC, 2014; Buendía *et al.*, 2015). Òbviament, aquestes alteracions tenen efectes tant en els recursos hídrics superficials com en els subterranis i en les relacions entre els

dos components. A escala regional, per exemple, determinar les alteracions de la dinàmica hidrogeològica en zones on l'aigua subterrània és una font de subministrament indispensable per a rius i zones humides serà clau a l'hora de fer el diagnòstic de la direcció i magnitud del canvi (Mas-Pla, 2005). Les previsions de demanda per a la meitat del segle XXI, les quals són condicionades pel creixement demogràfic i l'eficiència d'ús, no assenyalen cap creixement notable de les necessitats hídriques a les conques internes de Catalunya, on hi ha la demanda domèstica i industrial més destacables. De fet, des del 2001, s'ha registrat un descens de l'abastament urbà del 15 %, el qual ha passat a ser de 572 hm³/any el 2012. Les estimacions de demanda hídrica basades en un creixement més gran de la població indiquen un consum per al 2051 similar al que hi havia a principis dels anys 2000 (ACA, 2015). Aquesta estabilitat en la demanda a les conques internes contrasta amb els nous regadius i les grans presses projectades per a abastir-los en l'actual Pla Hidrològic a la Conca de l'Ebre, on, en cas que es dugui a terme, l'increment de les necessitats agrícoles es trobarà en un conflicte amb altres usos. Els usos ambientals i, més específicament, l'estabilitat del delta de l'Ebre en tots els aspectes que depenen del cicle hidrològic i sedimentari serien especialment sensibles: la contenció de la falca marina i del transport de sediment (que actualment ja són controlats pels embassaments de Riba-roja i Mequinensa), l'equilibri de la línia de costa (que depèn, tanmateix, de la subsidència del mateix delta i de l'ascens del nivell del mar), la disponibilitat d'aigua per a reg, el manteniment de l'equilibri ambiental en el sentit més ampli, i, òbviament, la dinàmica socioeconòmica relacionada amb el cabal del riu.

En aquest context, els coneixements sobre els efectes del canvi global a Catalunya assolits durant el darrer decenni han estat fruit de nombrosos projectes de recerca que, de manera directa o indirecta, han avaluat els efectes que un clima i un territori canviant poden tenir en els recursos hídrics i els ecosistemes que en depenen. En aquest capítol, exposem una síntesi de tots aquests avenços amb l'objectiu de determinar quina és la disponibilitat actual de recursos hídrics i quina pot ser la magnitud del canvi. Així mateix, es presenta una valoració dels recursos disponibles mitjançant un

exercici de balanç hídric al conjunt de les conques hidrogràfiques de Catalunya, el qual es basa en les projeccions climàtiques per a Catalunya (Calbó *et al.*, capítol 5 d'aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA). A partir d'aquesta informació es presenten una sèrie de recomanacions que pretenen contribuir a una adaptació més bona al canvi i als escenaris previstos, en què l'aigua serà, encara més, un recurs escàs i variable.

7.2. Estimació dels efectes del canvi global en els recursos hídrics

En el context del cicle hidrològic, la disponibilitat d'aigua (recursos) és determinada per la relació entre els diferents components del balanç hídric, entre els quals la precipitació (P) i l'evapotranspiració potencial o de referència (ET_0 , segons la temperatura de l'aire, la velocitat del vent i la radiació solar) estan determinades directament per les condicions climàtiques. El resultat del balanç entre aquests components és l'evapotranspiració real (ET_r) d'una banda i, de l'altra, l'excés d'aigua que es manifesta, sobretot, en els cabals dels rius (escolament superficial, ES) i en la recàrrega de les aigües subterrànies per infiltració. Concretament, la infiltració d'aigua al sòl (I) depèn de l'estat hídric, de les característiques fisicoquímiques, de la coberta vegetal i de l'ús que se'n faci.

Tradicionalment, la gestió hídrica ha estat centrada principalment pel que fa a l'aigua d'escolament (i, parcialment, també la subterrània), malgrat que representa una fracció relativament petita del balanç (normalment, menys del 20 %). Per aquesta raó, a partir de final del segle xx, i amb la finalitat de gestionar els recursos d'aigua d'una manera sostenible en relació amb un ampli espectre de situacions, es tendeix a simplificar el balanç hídric perquè es creu que l'aigua de pluja es reparteix entre *aigua verda* i *aigua blava*. Com detallem més endavant (apartat 7.4), l'*aigua verda* és la que utilitzen els ecosistemes terrestres i els conreus de secà i l'*aigua blava* és l'aigua lliure que es converteix en escolament superficial i subterrani. Quan en una conca es produeix o planifica una modificació en l'ús del sòl que produirà un canvi en el consum d'*aigua verda*, s'ha de tenir en compte que el canvi repercutirà en els recursos disponibles d'*aigua blava* (Falkenmar i Rockström, 2004; Calder, 2005; Birot i Gràcia, 2011; Gallart, 2015).

L'estudi de cadascun dels components del balanç hídric en les conques catalanes, a diferents escales temporals i espacials, i la relació que té amb el canvi climàtic i el canvi global aporta una sèrie de resultats que tractem de sintetitzar a continuació.

7.2.1. Efectes en l'escolament superficial

Són diversos els treballs relacionats amb la influència del canvi climàtic en l'escolament superficial i amb els cabals dels rius a Catalunya, com, per exemple, els que es van dur a terme dins el marc del projecte ACCUA (CREAF, 2012) a partir de la modelització dels efectes en el cabal produïts amb diversos escenaris climàtics (moderat —B1— i mitjà-alt —A2—; escenaris de l'AR4 de l'IPCC) a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana (Candela *et al.*, 2012; Pascual *et al.*, 2014), els quals es basaven en les projeccions climàtiques de regionalització dinàmica elaborades per l'SMC (Barrera-Escoda i Cunillera, 2010 i 2011). Els treballs de Pascual *et al.* apunten cap a una reducció mitjana de cabal del 34 % per al període 2076-2100 a les conques més humides (Fluvià i Tordera) i un decreixement més baix (25 % per al mateix període) a la conca més seca (Siurana), amb una afectació més gran en els cabals mitjans durant l'estiu i la tardor. Alhora, el treball explora les implicacions que aquests descensos poden tenir en els cabals de manteniment en els diferents trams dels rius estudiats i en els dies en què el cabal circulat serà inferior al recomanable. A les capçaleres del Fluvià i la Tordera, i per a l'escenari A2, les prediccions amplien molt notablement el nombre de dies amb cabals inferiors als necessaris per al funcionament saludable dels ecosistemes que depenen del riu.

L'estudi de Candela *et al.* (2012) té en compte la modelització de la recàrrega natural del subsòl en condicions climàtiques futures. Els resultats mostren que un increment de la temperatura de 2,2 °C i un decreixement de la precipitació de l'11 % comportaran al 2050 un descens del 20 % del cabal fluvial i d'un 18 % de la recàrrega al subsòl. Els mateixos autors destaquen, també, la importància de les condicions d'humitat del sòl en el control del balanç hídric pel que fa a aquestes prediccions.

Resultats preliminars d'estudis recents en el marc del projecte Life+ MEDACC (Vicente-Serrano *et al.*,

2015) han constatat descensos significativament rellevants en els cabals circulants al Segre, el Ter i la Muga del 1950 ençà, especialment aigües avall dels embassaments, fet que constata el paper tan determinant que la gestió hidrològica de la conca i les derivacions d'aigua superficial tenen en l'alteració del règim de cabals naturals. Aquestes alteracions arriben a ser de fins al 90 % a la part baixa del Segre i de fins al 50 % al Ter i a la Muga. Aquestes variacions, com veurem seguidament, estan relacionades amb tots els components que determinen el canvi global.

Així doncs, la comparació dels cabals observats amb els cabals estimats per als models hidrològics emprats amb la intenció de valorar la generació d'escolament superficial ha mostrat com, a més de probables alteracions causades pel canvi climàtic, els canvis en els usos del sòl, sobretot a les capçaleres de les conques, són un factor importantíssim per a avaluar la disponibilitat del recurs. Parlem, com s'ha esmentat, del *canvi global*. La relació directa entre l'increment de la coberta forestal i la disminució de l'escolament és un fenomen descrit en profunditat per diferents mètodes (per exemple, Zhang *et al.*, 2001). A Catalunya, Gallart (2009) i Gallart *et al.* (2011) van determinar la disminució continuada dels cabals a diverses conques fluvials. En el context de la conca de l'Ebre, cal esmentar que estudis anteriors ja van revelar que la disminució dels cabals (a un ritme del 0,2 % anual) era influenciada per la reforestació natural de les conques esdevinguda des de la meitat del segle xx (Gallart i Llorens, 2001, 2004). En rius regulats com l'Ebre, la disminució de l'escolament anual també és notable (Batalla *et al.*, 2014), fet que es pot atribuir tant a la reducció de l'aportació des de les capçaleres com a l'increment de la superfície de reg al llarg de la conca; però no hem d'oblidar, tampoc, que l'evaporació directa dels embassaments és un altre fet a tenir en compte en una conca mediterrània com aquesta.

Els estudis de simulació han estat emprats significativament per a avaluar els efectes del canvi climàtic en l'escolament superficial. Manzano (2009a) va estimar, amb models hidrològics de conca, una reducció del 15 % en les aportacions superficials associades a una disminució pluvio-

mètrica del 10 % per a l'horitzó del 2040, encara que no serà extensiva a tot el territori català. L'any 2070, les reduccions estimades pels models són del 16 al 28 %. Els models emprats per Manzano (2009a) mostren la importància de l'evapotranspiració, ja que es tracta del component del balanç hídric més crític en el control dels recursos disponibles en escenaris de temperatura més elevada i precipitació més baixa. Els canvis en la coberta vegetal com a resposta a la variació dels usos del sòl, principalment a les zones de capçalera, són una causa addicional que incrementa el volum evapotranspirat (Gallart, 2015). Conseqüentment, la influència paral·lela als canvis climàtics és determinant pel que fa a l'avaluació dels recursos disponibles. Estudis posteriors duts a terme a la conca del Cardener, els quals es basaven en la modelització de la resposta de les conques als canvis d'usos del sòl (Delgado *et al.*, 2010), han demostrat que és possible utilitzar models relativament simples per a simular l'efecte combinat del canvi de coberta vegetal i les diferents condicions climàtiques per a predir els recursos hídrics futurs.

Altres treballs recents de Buendía *et al.* (2014 i 2015) a les conques de la Noguera Pallaresa i la Ribera Salada han demostrat la importància conjunta que el canvi climàtic i la reforestació tenen en la disminució dels cabals a partir de l'aplicació dels models hidroclimàtics validats amb dades reals. Molts d'aquests treballs, els quals s'han desenvolupat a les conques, validen processos i estableixen les bases per a futures estratègies d'adaptació. Aquests treballs, no obstant això, requeriran una extrapolació de les dades en grans conques, on cal tenir en compte diverses qüestions afegides. Primerament, que els components del balanç hídric poden variar al llarg del curs del riu, especialment en aquells que travessen Catalunya de nord a sud (Llobregat, Segre) i creuen diferents zones climàtiques; i, en segon lloc, les pressions en el recurs, entre les quals es troben la tipologia i la magnitud de la demanda per a usos antròpics i ecològics, seran molt diferents pel que fa a les que hi ha a les capçaleres i a les parts baixes de les conques. Aquesta visió a diferents escales és, doncs, un factor clau per a establir mesures que minimitzin els efectes de les variacions climàtiques en el conjunt del país.

Tanmateix, cal remarcar la importància creixent previsible pel que fa als períodes en condicions extremes —aiguats i sequeres—, els quals modifiquen fortament la disponibilitat d'aigua. Més enllà del risc que representen (Llasat i Corominas, 2010; Manzano, 2009, i el capítol 6 d'aquest INFORME), signifiquen una modificació del cicle de l'aigua i de la disponibilitat dels recursos. D'una banda, els aiguats —com a resultat d'unes precipitacions més intenses— representen una modificació del règim fluvial actual al qual tenim adaptades les infraestructures de derivació i d'emmagatzematge d'aigua (embassaments). La concentració de la precipitació anual en períodes més curts i menys freqüents que deriva del canvi climàtic implica un canvi en el ritme de recàrrega dels aqüífers com a recurs subterrani explotable i que, en condicions de sequera, contribueix al cabal superficial amb el flux de base. Les sequeres associades a aquest règim de precipitacions, diferent de l'actual, implicaran una dependència més important dels volums d'aigua emmagatzemats als embassaments, de l'explotació dels recursos subterranis i dels recursos alternatius (aigua regenerada, potabilització d'aigües subterrànies actualment inacceptables per al consum i dessalinització d'aigua de mar). A efectes pràctics, i sense entrar-hi en detall, aquestes transformacions del cicle hidrològic obligaran a repensar les infraestructures hidràuliques (interconnexions i embassaments) al país i també l'assignació dels recursos hídrics per als diferents usos.

7.2.2. Efectes en la recàrrega dels aqüífers

L'efecte del canvi climàtic en la recàrrega dels aqüífers és un dels aspectes més rellevants en el balanç hídric de qualsevol conca de drenatge, atesa la dependència del subministrament que prové de les aigües subterrànies, especialment per als usos agrícoles i industrials, i també com a aigua potable per a molts municipis que es troben fora de les grans aglomeracions urbanes que depenen de la xarxa Ter-Llobregat i del transvasament de l'Ebre al Camp de Tarragona (Dolz i Armengol, 2011). Els recursos hídrics subterranis són claus, també, per al funcionament dels ecosistemes fluvials i l'adaptació humana al canvi climàtic (Taylor *et al.*, 2012; Green *et al.*, 2011).

L'efecte del canvi climàtic i dels usos del sòl en els recursos subterranis és especialment com-

plex, atesa la diversitat geològica dels aqüífers i del tipus de flux (local o regional). En termes generals, la vulnerabilitat dels aqüífers lliures, amb fluxos locals sovint lligats als cursos fluvials, és molt més elevada que la dels aqüífers confinats, on es desenvolupen fluxos regionals o a més gran escala (Mas-Pla, 2005). La resposta de cada tipus de sistema hidrogeològic al canvi global serà diferent en funció de les característiques geològiques de cada conca. Per exemple, un sistema càrstic respondrà més ràpidament a les variacions climàtiques que un aqüífer en roques ígnies, així com en funció de l'escala, atès que cal esperar que els sistemes hidrogeològics regionals siguin més resilients als canvis que els locals (Mas-Pla, 2010). Pel que fa als canvis de coberta vegetal, hi ha un gran consens que l'aforestació redueix la recàrrega dels aqüífers apreciablement (Kim i Jackson, 2012), la qual cosa sol reduir els cabals d'estiatge, en particular en àrees amb aqüífers de gran volum, la capacitat dels quals no es completa durant l'estació humida (Calder, 2005).

Les dades obtingudes amb models en relació amb els efectes del canvi climàtic a la recàrrega d'aqüífers a Catalunya són escasses i la major part corresponen al treball ja esmentat de Candela *et al.* (2012) a la conca del Siurana i a un estudi anterior d'Ortuño *et al.* (2009) a diferents conques del país. Tots dos casos empenen un model de balanç hídric (Samper *et al.*, 2005) per a estimar la recàrrega al subsòl. En el cas del Siurana, Candela *et al.* (2012) avaluen els canvis en tot el sistema hidrològic per al 2050 i calculen que l'escolament superficial disminuirà en un 20 % i que la recàrrega natural pot disminuir un 18 %, per bé que conclouen que hi haurà un desfasament entre la disminució de l'escolament i de la recàrrega. Tanmateix, els resultats de la modelització confirmen el caràcter cíclic dels canvis en funció de la variabilitat climàtica. Ortuño *et al.* (2009) reconeixen la dificultat de la quantificació i la dependència estreta que té amb l'escenari climàtic que ha estat tingut en compte (A2 o B2) a la mateixa conca i en el model escollit. Amb tot, els resultats de l'estudi indiquen que la recàrrega disminuirà, aproximadament, un 25 % en el període 2071-2100 per a l'escenari climàtic A2, i un 19 % en l'escenari B2. En aquest

darrer cas, com a exemple, la disminució de la recàrrega oscil·larà entre un 21 i un 24 % a Cercs (Berguedà) i a la riera de Santa Coloma (Selva), i entre un 15 i un 16 % a Llobregat de la Muga, a l'Empordà. En qualsevol cas, els autors reconeixen la variabilitat dels resultats associats als canvis en la predicció pluviomètrica.

Cal fer un esment especial pel que fa a les conseqüències del decreixement dels cabals fluvials i, com a resultat, a la reducció de la recàrrega dels aqüífers. Tots dos fenòmens apunten cap a una disminució dels recursos hídrics disponibles, tant superficialment com subterràniament, fet que exigirà un notable esforç d'adaptació tant amb relació a la resposta a les demandes d'ús com a la conservació de les funcions i serveis dels ecosistemes fluvials i associats (Peñuelas *et al.*, 2005, 2010; i el capítol 9 d'aquest INFORME). En aquest context, i atès que la major part dels rius de Catalunya estan regulats, la gestió dels embassaments es pot convertir en un element clau en la preservació de les relacions riu-aqüífer a les parts baixes de la conca i en l'adaptació a les noves condicions hidroclimàtiques, així com per a mantenir els nivells adequats de qualitat hidromorfològica i ecològica dels sistemes fluvials. En relació amb la demanda, cal preveure una afecció important als aqüífers lliures de les planes al·luvials que, en moltes àrees, concentren la màxima explotació per a usos agrícoles. Els efectes de la gestió a la capçalera de les conques també és important en conques més petites, com, per exemple, a la riera d'Arbúcies, on derivacions històriques per a reg i abastament comprometen el cabal en el curs inferior i afecten la recàrrega dels aqüífers associats (Mas-Pla *et al.*, 2012).

7.2.3. Efectes de l'augment del nivell del mar a les planes litorals i deltaïques

Una conseqüència addicional del canvi climàtic a les zones litorals és l'ascens del nivell del mar, fet que compromet especialment la qualitat dels recursos hídrics (Ferguson *et al.*, 2012). El fenomen d'intrusió salina és present arreu del litoral català i ha afectat històricament l'explotabilitat dels aqüífers litorals (Mas-Pla *et al.*, 2014). En aquest sentit, tant l'ascens del nivell del mar com la minva de la recàrrega a les planes litorals afavoriran l'avançament de la falca salina cap al continent, fet que

disminuirà el volum emmagatzemat d'aigua dolça als aqüífers (Mas-Pla i Ortuño, 2005). La possibilitat d'obtenir recursos alternatius, com ara aigua superficial (Fluvià-Muga, Camp de Tarragona), o la construcció de plantes dessalinitzadores (Tordera, Barcelona) han implicat una millora en la qualitat de l'abastament urbà d'aigua, per bé que amb un cost econòmic i energètic més elevat. Totes dues opcions, no obstant això, són poc sostenibles en el marc d'adaptació al canvi climàtic, ja que l'ús de recursos superficials serà afectat directament per la disminució de cabals prevista i entrarà en conflicte amb les funcions ecològiques dels rius, i els requeriments energètics de la dessalinització impliquen, actualment, emissions a l'atmosfera més destacables de gasos amb efecte d'hivernacle.

Amb tot, les dues àrees litorals més paradigmàtiques del país, els deltes del Llobregat i de l'Ebre, presenten problemes diferents pel que fa als recursos hídrics i a l'acció del mar. La contenció de la falca salina al delta del Llobregat, la qual és induïda per les extraccions d'aigua subterrània, ha estat motiu de la construcció de barreres hidràuliques que també poden ser efectives pel que fa a l'ascens de la cota del mar (Ortuño *et al.* 2012). Al delta de l'Ebre, el balanç entre aigua dolça i aigua salada, tant al llarg del canal del riu com en els aqüífers, és extremament delicat, atesa la geografia del delta i, sobretot, perquè l'equilibri hídric és controlat per les activitats agrícoles (Ibàñez *et al.*, 1997). L'Ebre, per ell mateix, és el paradigma de sistema hídric litoral que rep tant els efectes del canvi global des del continent (reducció i canvis en el règim de cabals, reducció de les aportacions de sediment) com des del mar (intrusió marina, erosió litoral). Addicionalment, la gestió antròpica d'aquest territori ha condicionat en bona part aquest sistema natural, de manera que l'adaptació al canvi climàtic esdevé una qüestió que implica tant la gestió de tota la conca com la local (Fatoric i Chelleri, 2012). El marc legal del Pla Hidrològic de la Conca de l'Ebre actual, aprovat el gener del 2016, atorga més recursos als regadius, limita la implementació d'un règim complet de cabals ambientals al tram baix de l'Ebre i esdevé una nova pressió hidrològica que s'afegirà a les que es deriven del canvi climàtic.

7.3. Relació entre recursos hídrics i demanda d'aigua a Catalunya en el marc del canvi global

L'adaptació al canvi climàtic significa anticipar-ne els efectes adversos, prendre les accions apropiades per a minimitzar-ne les conseqüències i, fins i tot, aprofitar els avantatges que se'n puguin derivar. Entre els efectes adversos hi ha els que poden afectar els diferents processos biofísics que assegurin l'estabilitat dels ecosistemes i la biodiversitat, així com la garantia d'aigua a les demandes antròpiques. De fet, la Directiva marc de l'aigua es fixa com a objectiu una gestió de l'aigua adaptada als canvis que satisfaci totes dues necessitats. Els avantatges sorgiran de la necessitat de racionalitzar totes dues demandes amb l'objectiu d'assolir una compartimentació més equilibrada i sostenible dels recursos hídrics disponibles. En aquest sentit, cal continuar insistint en la necessitat d'ampliar i millorar la monitorització de tots els components del balanç hídric en conques representatives, a diferents escales temporals i espacials, per a obtenir dades rellevants que permetin assolir un coneixement més bo i una modelització més robusta dels processos.

La major part dels estudis han determinat que el canvi climàtic té efectes en un o diversos components del cicle hidrològic. La qüestió és determinar la magnitud, el recorregut temporal i la irreversibilitat d'aquests efectes un cop determinats límits (per exemple, com afecta la durada de les seques a la biodiversitat dels sistemes fluvials) hagin estat assolits. Estudis com els de Bangash *et al.* (2013), Terrado *et al.* (2014) i Boithias *et al.* (2014) il·lustren la relació entre el canvi climàtic, l'escassetat hídrica i el funcionament ecològic.

Els efectes del canvi global en els usos i demandes d'aigua són un tema també molt complex. El projecte Life+ Water Change avalua econòmicament els possibles impactes del canvi global als municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona, en què el subministrament es realitza amb aigua del riu Llobregat (Pouget *et al.*, 2012; Guiu *et al.*, 2015). En aquest estudi s'analitzen els costos i els beneficis que es podien generar amb diferents estratègies d'adaptació. En una primera fase, es van determinar els costos tangibles d'un dèficit potencial dels recursos (costos derivats de la manca d'aigua en diferents sectors de l'economia que es

podrien veure afectats per una disminució de la producció) i els costos indirectes (la disminució del benestar de la població causada per una manca en el subministrament). A continuació, es van dissenyar tres estratègies d'adaptació formulades per a resoldre diferents escenaris futurs d'increment de la demanda d'aigua i de disminució dels recursos disponibles a causa del canvi climàtic. Aquestes estratègies es basen en la combinació de diferents mesures a partir del criteri de cost-eficiència (evitant el dèficit d'aigua al mínim cost) i cadascuna proposa diferents etapes d'adaptació als escenaris previstos, els quals van ser expressats en unitats de volum d'aigua addicional que cal aportar per a satisfer la demanda segons els escenaris que havien estat definits. Seguidament, es va simular l'efecte d'aquestes mesures, fet per al qual es va tenir en compte la inversió inicial i costos d'operació de cada mesura com a valor del cost evitat.

Els resultats van mostrar un dèficit de l'1 al 7 % de la demanda total actual per a un període de trenta anys (2011-2040). Finalment, es van calcular els valors actuals nets (beneficis menys costos) per al cas d'estudi. Una primera conclusió prou determinant és que els beneficis de l'adaptació (fins a un valor aproximat del 4 % del VAB català) són més alts que els costos de l'adaptació (d'un 0,1 % del VAB català) i, per tant, l'adaptació al canvi climàtic, si tenim en compte les mesures analitzades, és quelcom desitjable per als casos de dèficit similar o més alt que la situació del període històric tingut en compte. D'aquesta manera, els resultats indiquen la necessitat que hi ha de desenvolupar mesures adients que puguin ser sotmeses a una anàlisi cost-benefici. Els resultats d'aquestes valoracions han de conduir a la presa de decisions eficients en un procés d'adaptació d'una conca amb uns recursos hídrics sotmesos a una demanda molt important.

El Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya 2016-2021 (ACA, 2015) té en compte de manera explícita i extensa la influència del canvi climàtic, especialment pel que fa als recursos superficials, i també reconeix, pel que fa al balanç hídric de les masses d'aigua subterrània, que els efectes del canvi climàtic, encara lleus, seran molt difícils de discernir, atès que els processos i les dinàmiques són lents. En relació amb les dinàmiques, i de manera també qualitativa, es poden

avançar les principals alteracions, especialment les que afectaran els aqüífers al·luvials: variació de la recàrrega directa, alteració de les relacions rius-aqüífer i modificacions de la falca salina al litoral.

7.4. Efectes del canvi en els components hidrològics i els recursos hídrics al segle XXI

Falkenmark i Rockström (2004) exposen amb claredat les particularitats del cicle de l'aigua, expressen la importància del balanç hídric en el funcionament dels ecosistemes i emfatitzen que la natura i la societat fan servir els mateixos recursos. En l'exposició, desenvolupen els conceptes d'*aigua blava* i *aigua verda*, els quals ja han estat esmentats i que són útils per a calcular els efectes del canvi climàtic. El balanç hídric global i per a les diferents

zones climàtiques de Catalunya diferenciades en aquest estudi (Pirineus, interior i litoral) es mostra a la figura 7.1.

Més concretament, l'*aigua blava* és l'aigua visible que flueix pels sistemes fluvials i, en el subsòl, pels aqüífers. Per contra, l'*aigua verda* està formada pel flux invisible de vapor cap a l'atmosfera, produït, principalment, per la transpiració de les plantes mitjançant el creixement de la biomassa vegetal. En el concepte d'*aigua verda* també s'incorpora l'evaporació de l'aigua, per bé que no és productiva en termes de biomassa. Tant l'*aigua blava* com l'*aigua verda* són imprescindibles per al desenvolupament de les funcions ecològiques i condicionen el desenvolupament humà i de les societats. El balanç està condicionat per les alteracions climàtiques i del

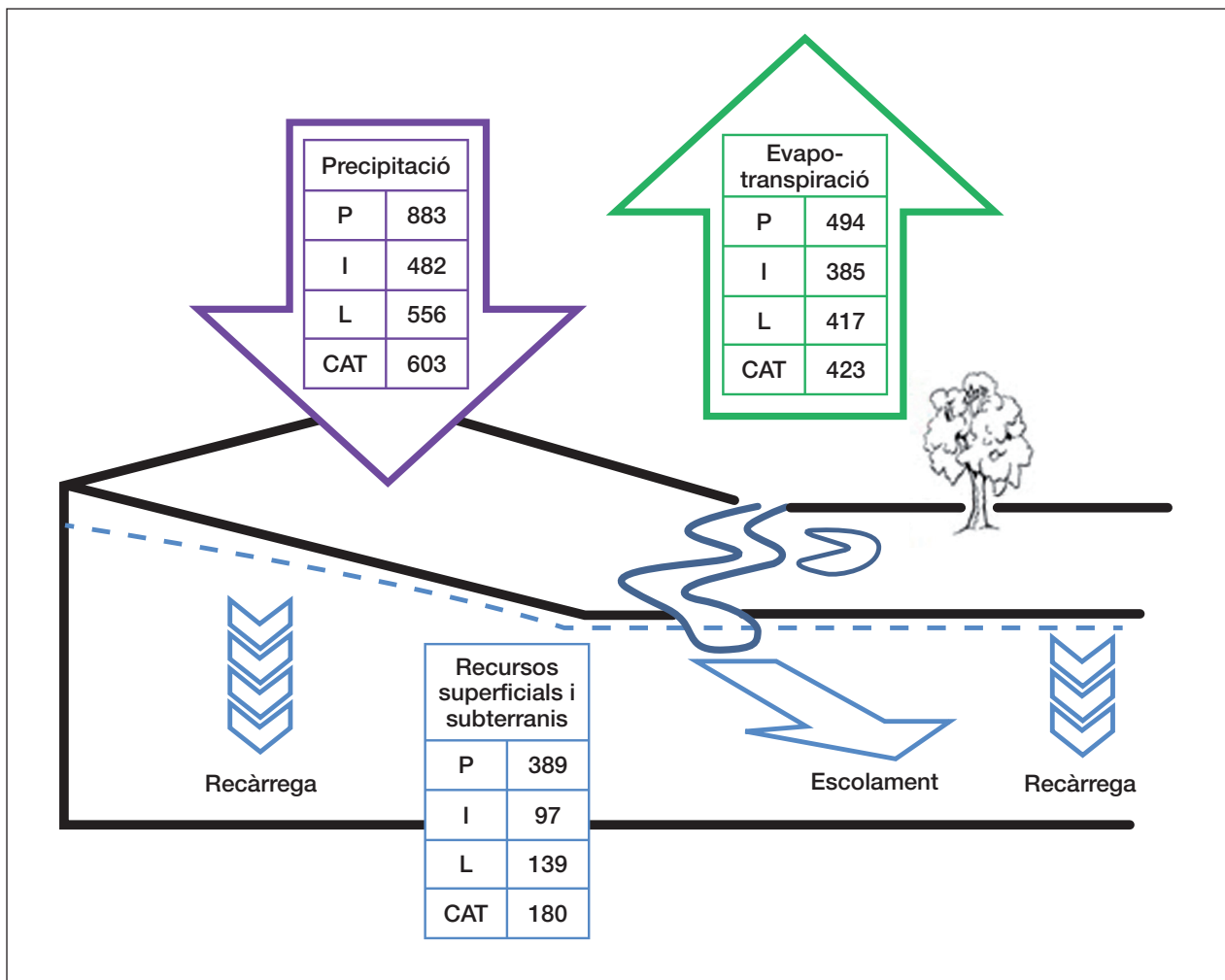


FIGURA 7.1. Esquema del balanç hídric en una conca hidrogràfica, on les entrades són representades per la precipitació incident i les sortides com a *aigua verda*, de manera que mostren els processos d'evapotranspiració real, i com a *aigua blava*, que engloba l'escolament i la infiltració i representa els recursos hídrics disponibles (superficials i subterranis). Els valors representen els termes del balanç hídric actual, amb dades dels darrers deu anys, expressats en mm (és a dir, l/m²), a les regions dels Pirineus (P), l'interior (I), el litoral (L) i en el conjunt de Catalunya (CAT), segons els càlculs de la taula 7.2.

medi, especialment per les que afecten els usos del sòl. Per aquestes raons, incorporem els conceptes d'*aigua blava* i *aigua verda* per a tractar la qüestió de la disponibilitat futura de recursos hídrics que, en aquest apartat, avaluem en funció dels escenaris climàtics previstos de temperatura i precipitació a Catalunya per als horitzons dels anys 2021 i 2051, fet per al qual hem tingut en compte les cartografies més recents de coberta del sòl, les quals hem suposat invariants en aquests propers decennis.

7.4.1. Càlcul de l'afecció i de la distribució per conques hidrogràfiques

El balanç hídric permet determinar la disponibilitat d'aigua anual a una conca a partir de l'equilibri entre els diferents components del cicle hidrològic, concretament:

$$P = ET_r + ES + \Delta S + I,$$

on P és la precipitació i principal entrada de recursos a una conca. Les sortides de recursos del balanç estan representades per l'evapotranspiració (entre la qual distingim la potencial o de referència, ET_0 , i la real, ET_r), l'escolament superficial (ES), la variació d'aigua acumulada al sòl (ΔS) i la infiltració cap al nivell freàtic. Per simplicitat, en aquest balanç no es té en compte el flux subterrani lateral a través dels límits de l'aqüífer, el qual és determinant en la sostenibilitat de l'explotació dels sistemes hidrogeològics a escala regional (Menció *et al.*, 2010).

L'equació anterior permet determinar els recursos disponibles, $R = ES + \Delta S + I$, com la diferència entre precipitació i evapotranspiració real,

$$R = ES + \Delta S + I = P - ET_r$$

L'equació de Zhang *et al.* (2001) és una expressió racional senzilla que permet calcular l'evapotranspiració real anual (ET_r , és a dir, l'*aigua verda*) en funció del tipus de coberta vegetal i els valors de la precipitació (P) i l'evapotranspiració potencial (ET_0) anuals,

$$\frac{ET_r}{P} = \frac{1 + w \frac{ET_0}{P}}{1 + w \frac{ET_0}{P} + \left(\frac{ET_0}{P}\right)^{-1}}$$

L'índex w és el coeficient d'aigua disponible per a la vegetació. Des del punt de vista hidrològic, representa l'aigua del sòl que cal esperar que sigui accessible a diferents plantes per a un cert valor de la precipitació anual. El valor oscil·la entre el 0,5 per a zones de prat i fins al 2,0 per a boscos. En aquest cas, la proporció de recursos disponibles, l'*aigua blava*, en relació amb la precipitació (R/P) està expressat per

$$\frac{R}{P} = 1 - \frac{ET_r}{P},$$

on ET/P és l'índex de Zhang *et al.* (2001), que hem esmentat anteriorment.

Aquest mètode de càlcul dels recursos disponibles en relació amb l'*aigua blava* ha estat emprat per Gallart *et al.* (2011), Bangash *et al.* (2013) i Boithias *et al.* (2014) en el càlcul de balanços hídrics en diverses conques. Tanmateix, l'aplicació no està exempta de discussió i els resultats són indicatius de la distribució dels dos components del balanç hídric expressats pels quocients R/P i ET_r/P . En aquest sentit, Delgado *et al.* (2010) troben diferències entre els valors d'escolament superficial calculats amb el model HYLUC i els obtinguts per la fórmula de Zhang *et al.* (2001) quan van intentar calcular els cabals generats en una conca, fet pel qual van tenir en compte els diversos usos del sòl.

Per a dur a terme una valoració regionalitzada dels efectes del canvi climàtic a diferents subconques de Catalunya que inclogui tant les projeccions climàtiques elaborades per Calbó *et al.* (capítol 5) —amb una distribució del territori català en tres grans zones: Pirineus, litoral i interior— com els usos del sòl i l'afecció al balanç hídric, s'han elaborat diferents cartografies basades en la metodologia següent:

- 1) Càlcul dels valors de temperatura (T) i precipitació (P) mitjanes anuals a partir de dades mensuals per a cada estació meteorològica de Catalunya, amb dades de l'SMC, i una estimació de la evapotranspiració potencial (ET_0) anual sobre la base del mètode de Thornthwaite per a cada observatori (figura 7.2).
- 2) Càlcul de la distribució dels usos del sòl a cada conca (en kilòmetres quadrats a cada subconca) mitjançant la informació de les cobertores

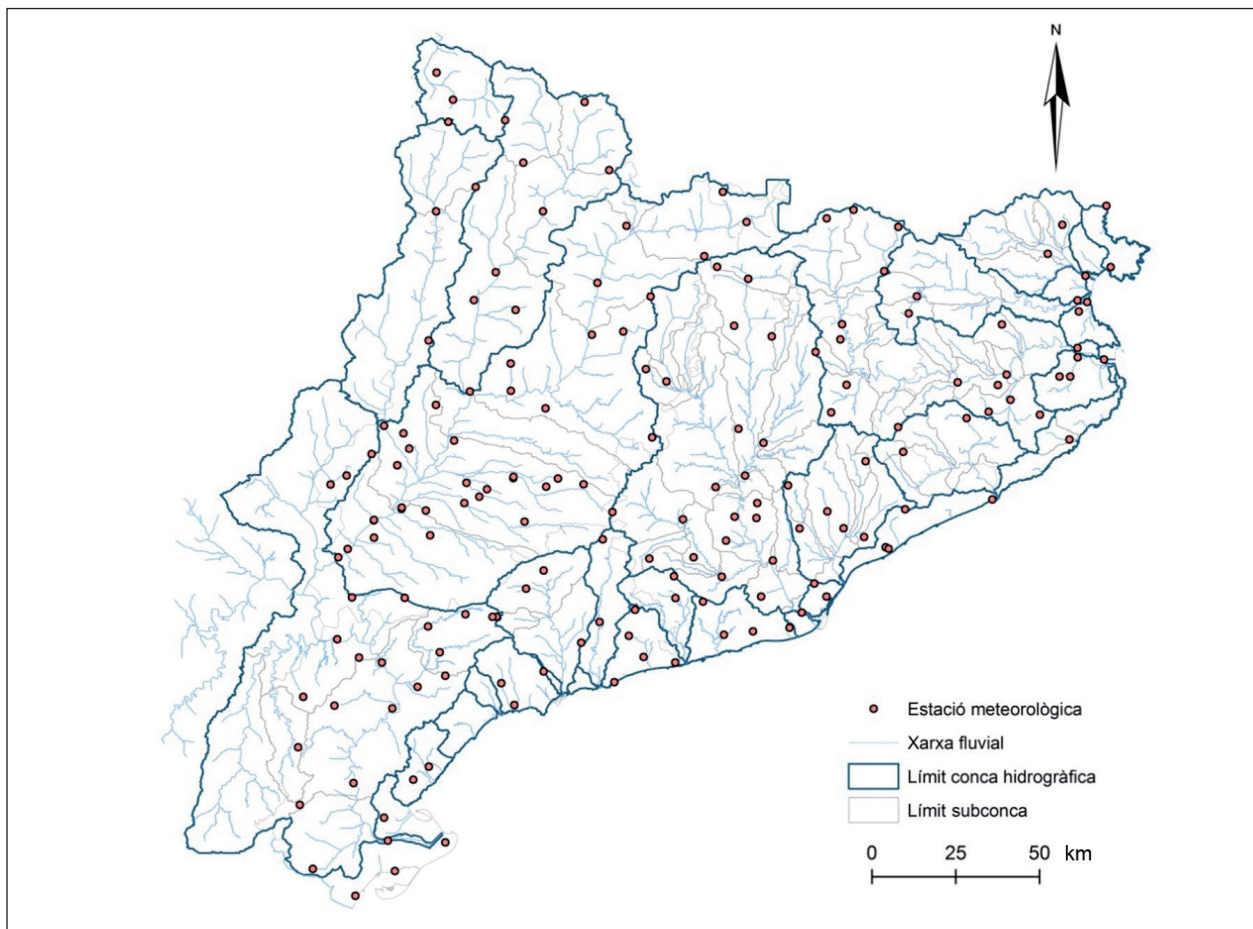


FIGURA 7.2. Distribució de les subconques en què s'han dividit les conques hidrogràfiques catalanes i localització dels observatoris meteorològics del Servei Meteorològic de Catalunya emprats en el càlcul dels recursos d'aigua disponibles.

de sòl del CREAM (4a edició) a l'àmbit de Catalunya i del CORINE Land Cover 2006 pel que fa a les conques que s'estenen més enllà del territori català, fet pel qual es va adoptar una modificació simplificada de la regionalització del sistema fluvial a les conques internes de Catalunya (ACA, 2002). La delimitació de les subconques s'ha dut a terme mitjançant el model d'elevació digital ICGC 15 x 15 a Catalunya i IGN 5 x 5 LIDAR a Aragó.

- 3) Càlcul de la relació ET/P amb l'expressió de Zhang *et al.* (2001) a cada subconca, segons els valors de T , P i ET_0 locals, de manera proporcional a la distribució d'usos del sòl. Els valors de l'índex w emprats en aquesta simulació per a diferents usos del sòl es presenten a la taula 7.1.
- 4) Finalment, es calcula el valor de la relació R/P amb les dades meteorològiques registrades i es repeteix aquest càlcul amb els valors de P i T estimats per Calbó *et al.* (capítol 5) per als

TAULA 7.1. Valors del coeficient w (Zhang *et al.*, 2001) per als diferents usos del sòl emprats en aquest estudi

Ús del sòl	w
Bosc	1,75
Plantacions de pollancre	1,75
Conreu reg	1,50
Conreu secà	0,75
Vegetació escassa	0,40
Prat supraforestal	1,00
Aigua continental	0,00
Zona urbanitzable	0,00
Altres	0,00

horitzons del 2021 i el 2051, fet per al qual s'ha suposat que la distribució dels usos del sòl a les conques resta invariable. Els càlculs de ET_0 i del quocient ET_r/P per tots dos horitzons climàtics s'han realitzat mitjançant les funcions de regressió obtingudes a partir dels càlculs realitzats en les condicions actuals (figura 7.3).

Els resultats mitjans per a cada conca hidrogràfica, amb els valors de les projeccions climàtiques anuals expressades pel quocient R/P i les relacions entre aquestes i l'actual, es presenten a la taula 7.2, mentre que els detalls per a cadascuna de les subconques es presenten a la taula 7.3.

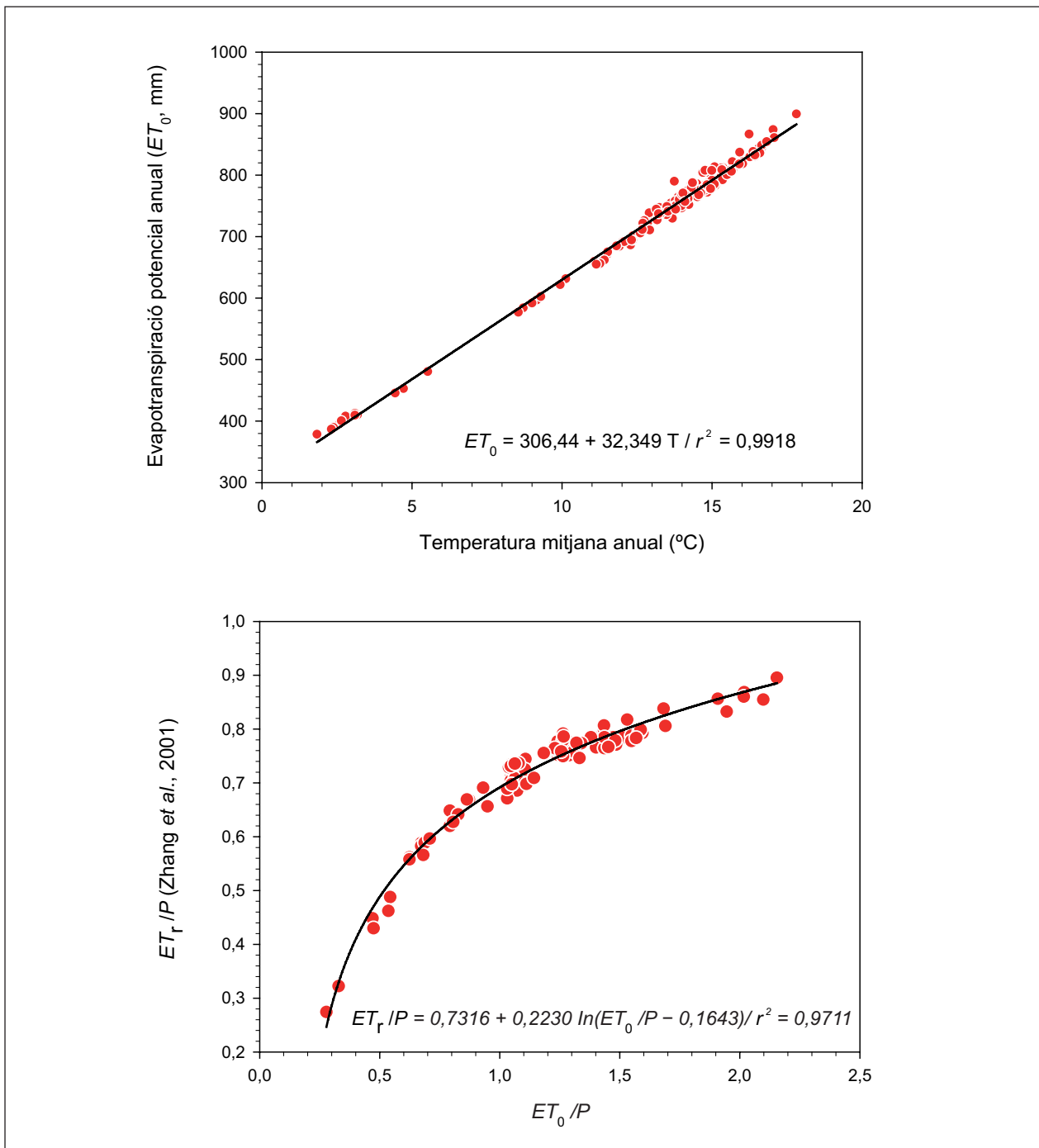


FIGURA 7.3. Relacions entre a) les variables meteorològiques, evapotranspiració potencial-temperatura de tots els observatoris en territori català del Servei Meteorològic de Catalunya, i b) les variables hidrològiques expressades pels quocients ET/P (estimat per l'equació de Zhang *et al.*, 2001) fet pel qual s'han tingut en compte els usos del sòl a cada subconca) i els valors de ET_0/P (estimat a partir de les dades meteorològiques) a cada una de les subconques de Catalunya.

TAULA 7.2. Valors dels quocients R/P actuals (2015) i per a les projeccions climàtiques per als escenaris del 2021 i del 2051, i dels quocients entre els valors de R/P projectats per a aquests anys amb el valor actual. S'inclouen les dades de superfície i precipitació.

Els valors mitjans al peu de la taula estan ponderats amb el valor de la superfície de cada zona i es tenen en compte segons la ubicació: Pirineus (P), Interior (I) i Litoral (L). n: nombre de subconques a cada zona

Conques internes	Zona	n	Àrea (km²)	Àrea (%)	Precipitació (mm)	R/P (actual)	R/P 2021	Quocient (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{act}	R/P 2051	Quocient (R/P) ₂₀₅₁ / (R/P) _{act}
Besòs	P*	1	28,7	2,6	887,0	0,406	0,398	0,981	0,377	0,928
	L	8	1.088,3	97,4	683,0	0,406	0,250	0,888	0,228	0,805
Fluvià	P	2	235,9	21,1	875,0	0,345	0,335	0,977	0,317	0,924
	L	4	827,6	77,8	683,0	0,406	0,228	1,000	0,206	0,900
Foix	L	1	311,3	100,0	543,0	0,233	0,194	0,834	0,172	0,739
Francolí	L	3	837,4	100,0	533,0	0,242	0,209	0,861	0,186	0,765
Gaià	L	1	422,9	100,0	516,0	0,205	0,178	0,868	0,156	0,761
Llobregat	P	4	735,1	14,8	642,0	0,266	0,272	1,024	0,254	0,955
	I	14	3.621,7	72,9	586,0	0,242	0,218	0,904	0,212	0,878
	L	4	608,7	12,3	532,0	0,236	0,186	0,805	0,164	0,710
<i>Mitjana ponderada Llobregat:</i>					<i>587,7</i>	<i>0,245</i>	<i>0,222</i>	<i>0,909</i>	<i>0,213</i>	<i>0,869</i>
la Muga	L	6	846,9	100,0	615,0	0,223	0,227	1,024	0,205	0,922
Rieres litoral gironí	L	4	653,2	100,0	602,0	0,224	0,217	0,975	0,195	0,874
Rieres litorals Garraf-Penedès	L	2	728,8	100,0	547,0	0,234	0,201	0,919	0,179	0,814
Rieres litorals Maresme	L	1	331,8	100,0	637,0	0,315	0,242	0,769	0,219	0,696
Rieres litoral tarragoní	L	5	876,4	100,0	520,0	0,209	0,178	0,872	0,157	0,765
Ter	P	5	1.184,9	36,3	905,0	0,394	0,380	0,973	0,359	0,920
	I	4	704,7	21,6	663,0	0,288	0,267	0,930	0,261	0,907
	L	8	1.371,6	42,1	689,0	0,273	0,264	0,969	0,241	0,883
<i>Mitjana ponderada Ter:</i>					<i>761,9</i>	<i>0,320</i>	<i>0,307</i>	<i>0,962</i>	<i>0,288</i>	<i>0,901</i>
la Tordera	P*	2	154,5	17,7	930,0	0,430	0,413	0,960	0,391	0,910
	L	4	719,7	82,3	577,0	0,226	0,217	0,956	0,195	0,846
Conca de l'Ebre										
Baix Ebre	I	2	1.210,1	20,2	456,0	0,169	0,139	0,837	0,134	0,801
	L	4	4.791,9	79,8	461,0	0,180	0,147	0,819	0,126	0,696
la Garona	P	1	445,2	100,0	1064,0	0,570	0,507	0,889	0,480	0,842
Segre	P	8	5.053,1	42,1	896,0	0,461	0,437	0,958	0,411	0,899
	I	5	6.939,6	57,9	413,0	0,164	0,135	0,816	0,129	0,780
<i>Mitjana ponderada Segre:</i>					<i>616,5</i>	<i>0,289</i>	<i>0,262</i>	<i>0,876</i>	<i>0,248</i>	<i>0,830</i>

Valors mitjans	Zona	n	Àrea (km²)	Àrea (%)	Precipitació (mm)	R/P (actual)	R/P 2021	Quocient (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{act}	R/P 2051	Quocient (R/P) ₂₀₅₁ / (R/P) _{act}
	P		7.837,5	22,57	883	0,434	0,413	0,963	0,389	0,906
	I		12.476,1	35,92	482	0,194	0,167	0,850	0,161	0,818
	L		14.416,4	41,51	556	0,241	0,196	0,885	0,174	0,780
Total			34.730,0		603	0,268	0,235	0,890	0,218	0,822

* La part alta de les conques del Besòs i de la Tordera, per la singularitat orogràfica, s'han equiparat als escenaris propis dels Pirineus.

Variabls: T, temperatura; P, precipitació; ET₀, evapotranspiració potencial; ET_r, evapotranspiració real (*aigua verda*); R, recursos disponibles (*aigua blava*).

Zona: P, Pirineus; L, litoral; I: interior; P* es correspon a les subconques del riu Besòs i la Tordera al massís del Montseny, a les quals també s'ha aplicat la projecció corresponent als Pirineus per motius orogràfics.

1. Calculades a partir de les projeccions de Calbó *et al.* (capítol 5 d'aquest INFORME) per a cada horitzó.

2. Calculat a partir de l'equació de Zhang *et al.* (2001) emprant el percentatge d'usos del sòl.

3. Calculat amb l'equació $ET_0 = 306,44 + 32,35 T$, $r^2 = 0,992$ (figura 7.3).

4. Calculat amb l'equació $ET/P = 0,7316 + 0,2230 \ln(ET_0/P - 0,1643)$, $r^2 = 0,971$ (figura 7.3).

7.4.2. Valoració dels efectes climàtics en la disponibilitat de recursos

Atesa la dependència dels paràmetres climàtics en la disponibilitat d'aigua, la distribució geogràfica dels resultats, els quals estan expressats en les cartografies de la figura 7.4 indiquen que la màxima disminució tindrà lloc, de manera general, a les terres de l'interior i assolirà un 15 % al 2021 i un 18,2 % al litoral. Per contra, la disminució a les subconques pirinenques (és a dir, a les capçaleres de les conques) serà del 3,7 % i del 9,4 %, respectivament. A Catalunya, els valors ponderats a les àrees esmentades impliquen una pèrdua d'un 11 % i d'un 17,8 % dels recursos per als dos escenaris esmentats, respectivament. Òbviament, una modificació de la superfície de les conques ocupades

per boscos durant els propers anys, fet que obligaria a l'aplicació del coeficient w més elevat entre els corresponents als diferents usos del sòl, modificaria aquests valors estimats i incrementaria el dèficit de recurs. Com que preveure els canvis percentuals dels usos del sòl durant els propers decennis és difícil, sembla més prudent indicar la tendència en els valors de R/P que provocarien aquests canvis que el fet de valorar possibles valors.

En aquest apartat no fem referència als recursos totals, sinó al canvi de la relació R/P esmentada anteriorment. Cal tenir en compte que a l'hora d'estimar la disponibilitat dels recursos futurs mitjançant el quocient R/P , caldrà tenir en compte el valor futur de P . Per tant, quan comentem els

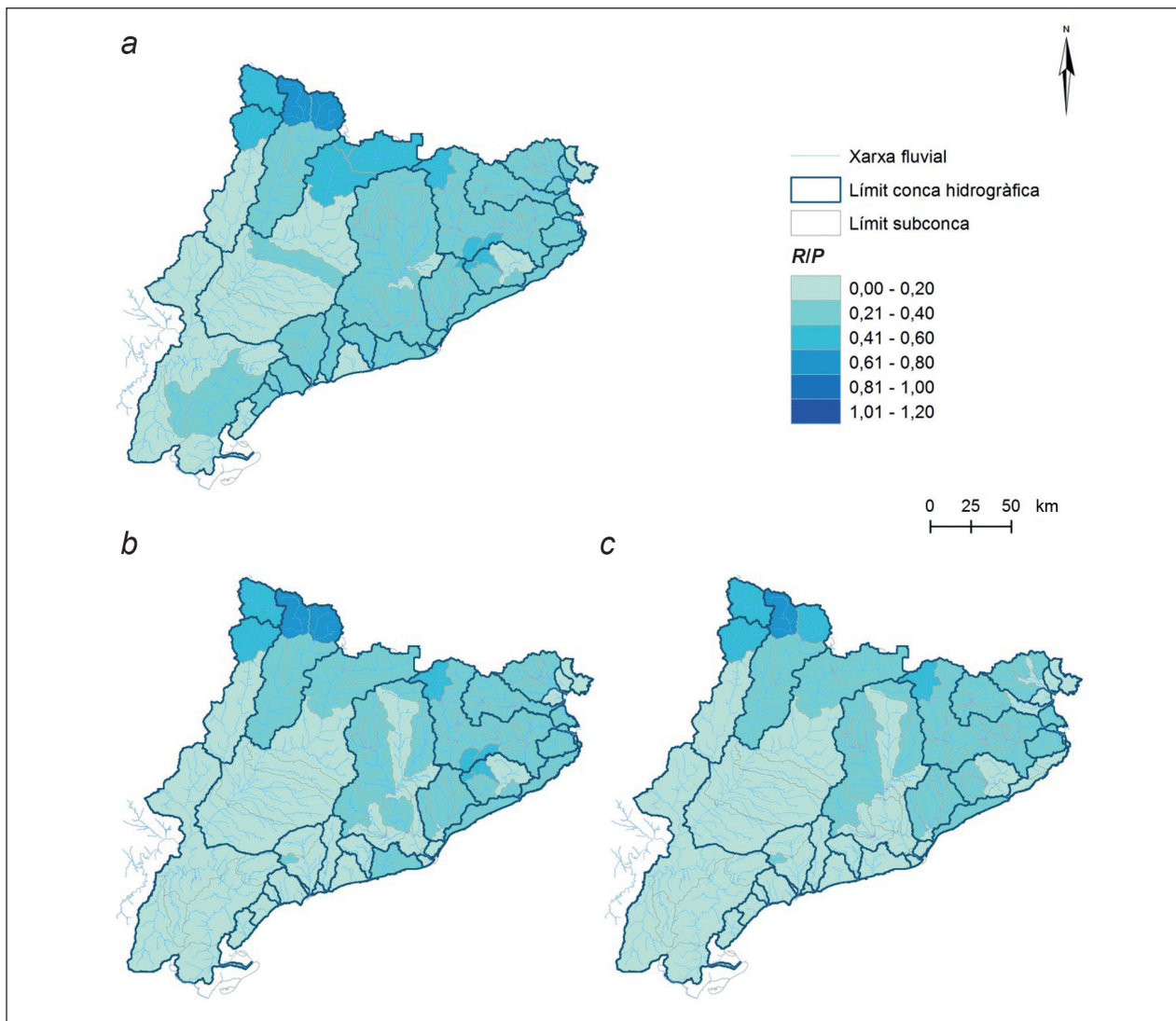


FIGURA 7.4. Distribució territorial de la relació entre els recursos hídrics i la precipitació (R/P) per a cada subconca. El quocient R/P representa la fracció de la precipitació incident que dona lloc a l'escolament superficial i a la recàrrega dels aqüífers, i que anomenem *aigua blava*. Les diferents cartografies es refereixen a) al moment actual, el qual resulta de les dades meteorològiques disponibles fins al 2015; b) a l'horitzó del 2021; i c) a l'horitzó del 2051, els quals es basen en les projeccions climàtiques de Calbó *et al.* del capítol 5.

valors de R/P cal tenir en compte que les previsions de la precipitació dels models climàtics per al nostre territori són molt més incertes que les previsions de la temperatura i que es preveu que la precipitació es reduirà poc en els mesos més freds i hidrològicament més eficaços (Christensen *et al.*, 2007). Aquesta variabilitat estacional, que, per simplicitat, no ha estat tinguda en compte en els càlculs (malgrat que sí que ha estat quantificada per Calbó *et al.* en el capítol 5) implica que els valors de R/P tan sols aproximen un valor mitjà anual. Atesa la transcendència del component estacional, la resposta real del cicle hidrològic a la quantitat de recursos disponibles caldrà tenir-la en compte amb més detall que el que es pot veure en aquest treball. Els resultats de la taula 7.3 mostren, de manera indicativa, els valors d'aigua blava R estimats per a aquests horitzons temporals a les tres zones (Pirineus, interior i litoral), els quals han estat calculats mitjançant el producte dels coeficients R/P per als valors de P anuals, un cop aplicades les reduccions expressades en el capítol 5 d'aquest INFORME.

La distribució dels recursos d'aigua disponibles a Catalunya, els quals s'expressen pel quocient R/P , mostra una diferència entre les conques internes i les conques de l'Ebre pel que fa a les dades climàtiques actuals: les primeres presenten una disponibilitat d'aigua més gran, excepte en les zones pirinenques, on els valors de R/P són més elevats. Així, a grans trets, les conques del Ter i del Llobregat mostren unes relacions més marcades entre els dos escenaris i la situació actual en el conjunt de les conques que els de la conca del Segre. En tots dos casos, la disminució més petita té lloc a les conques pirinenques, i és la conca del Llobregat la que presenta uns valors més elevats als Pirineus (cocient al 2051 de 0,955) i la conca del Segre la que se'n veurà més afectada (cocient al 2051 de 0,899). Es fa esment especial als efectes del canvi climàtic a les subconques pirinenques, atès que signifiquen la recàrrega dels principals sistemes de gestió de les conques fluvials (embassaments) per a satisfer la demanda de l'abastament agrícola de la plana de Lleida, l'abastament urbà a l'Àrea Metropolitana de Barcelona i a les zones de Girona - Costa Brava i la producció energètica. Si l'expresssem en volum d'aigua, la pèrdua de recursos absoluts serà molt més rellevant a la

conca del Segre, a causa, simplement, de la superfície més gran que comprèn. Així, la reducció d'aigua blava a la part pirinenca de la conca del Segre serà d'uns 145 hm³ i d'uns 323 hm³, respectivament, per als escenaris del 2021 i del 2051. També a les subconques pirinenques, la reducció a la conca del Ter serà de 23 hm³ i de 57 hm³, i al Llobregat de 0 hm³ i de 13 hm³, respectivament, per als escenaris del 2021 i del 2051.

La cartografia dels diferents valors de R/P , tant actuals com al 2021 i al 2051, indiquen que durant els propers decennis, els valors inferiors a 0,20 s'incrementaran a les subconques de l'interior de Catalunya, al llarg de l'eix del Llobregat i a la major part dels indrets litorals. Pel que fa al cocient R/P , la conca del Ter és la que presenta, i presentarà, valors més elevats i una resiliència més gran als efectes climàtics. Aquesta disminució dels valors de R/P per als propers decennis queda reflectida en els histogrames que il·lustren el percentatge d'àrea per a diferents rangs de R/P , fet que augmenta progressivament els valors en els rangs inferiors a 0,10 i 0,20. D'aquesta manera, per bé que actualment només un 34,8 % del territori català aprofita un 20 % dels recursos com a aigua blava, aquest percentatge territorial serà del 53,1 % el 2021 i del 57,3 % el 2051 (figura 7.5). Segons aquestes estimacions, les variacions climàtiques que es poden esperar a curt termini (2021) produiran un impacte territorial més gran en relació amb les condicions actuals que les que es preveuen entre el 2021 i el 2051.

Tanmateix, el cocient entre els valors de R/P corresponents als escenaris climàtics i els registrats actualment tendirà a disminuir arreu del territori (figura 7.6). No obstant això, algunes subconques, especialment les que es troben a les capçaleres dels rius catalans i al nord-est del país, poden mostrar un lleuger augment del valor de R/P el 2021 en relació amb el moment actual, amb cocients superiors a l'1,0, fet que indica un increment del 2 al 4 %. Aquest augment es justifica si entenem que la variació de la temperatura, i, per tant de l'evapotranspiració, no implica una pèrdua de recursos tan elevada com la disminució de la precipitació prevista per al 2021. Això cal entendre-ho com que en aquest primer horitzó no hi haurà variacions significatives dels valors de R/P i, per

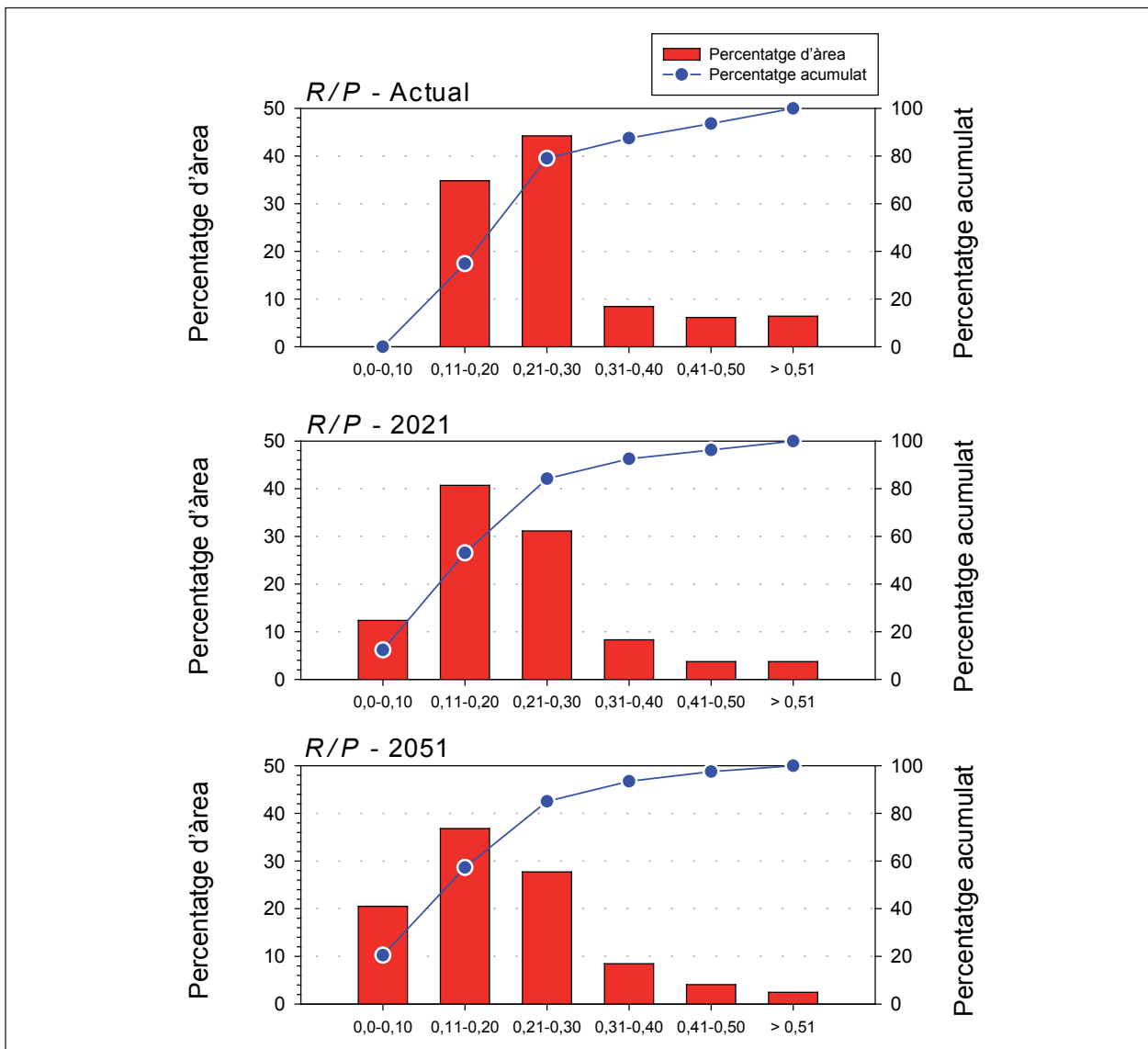


FIGURA 7.5. Percentatge de superfície del territori català per a diferents rangs del quocient *R/P*, i percentatge acumulat de la superfície.

tant, dels recursos disponibles. Aquest resultat, que pot semblar paradoxal ateses les tendències esmentades, permet introduir una altra repercussió important del clima futur: la variabilitat, molt més gran que l'actual i, per tant, amb una estacionalitat molt més marcada. Manzano (2009b) valora la importància de l'estacionalitat i assenyala una marcada reducció de cabals a l'estiu, la qual podria arribar a un 40 % dels valors actuals, i l'augment de la freqüència d'aiguats extrems, la qual comprometria la gestió hídrica, ja que els règims de recàrrega i de cabals entrants als embassaments variarien. L'ús de valors mitjans en els càlculs és, doncs, una mera aproximació als canvis esperables. En conseqüència, la gestió de l'aigua haurà de tenir en compte aquesta incertesa, atès que

l'aprofitament dels recursos resultants d'una precipitació més variable i, possiblement, concentrada en pocs episodis plujosos és molt més complexa, fet pel qual és, per tant, més difícil satisfer tota la demanda, inclosa l'ambiental.

Amb tot, el quocient *R/P* per a l'horitzó de l'any 2021 mostra una tendència clara a la baixa en el conjunt de Catalunya, amb un 11 % menys dels recursos, de manera que seria només del 3,7 % a les comarques pirinenques. No obstant això, la projecció del quocient *R/P* per a l'any 2051 és inequívoca i mostra una disminució del 17,8 % a tot el país, del 9,4 % als Pirineus i un clar decreixement a totes les subconques que s'han tingut en compte (excepte a la part alta de la Muga, a l'Alt Empor-

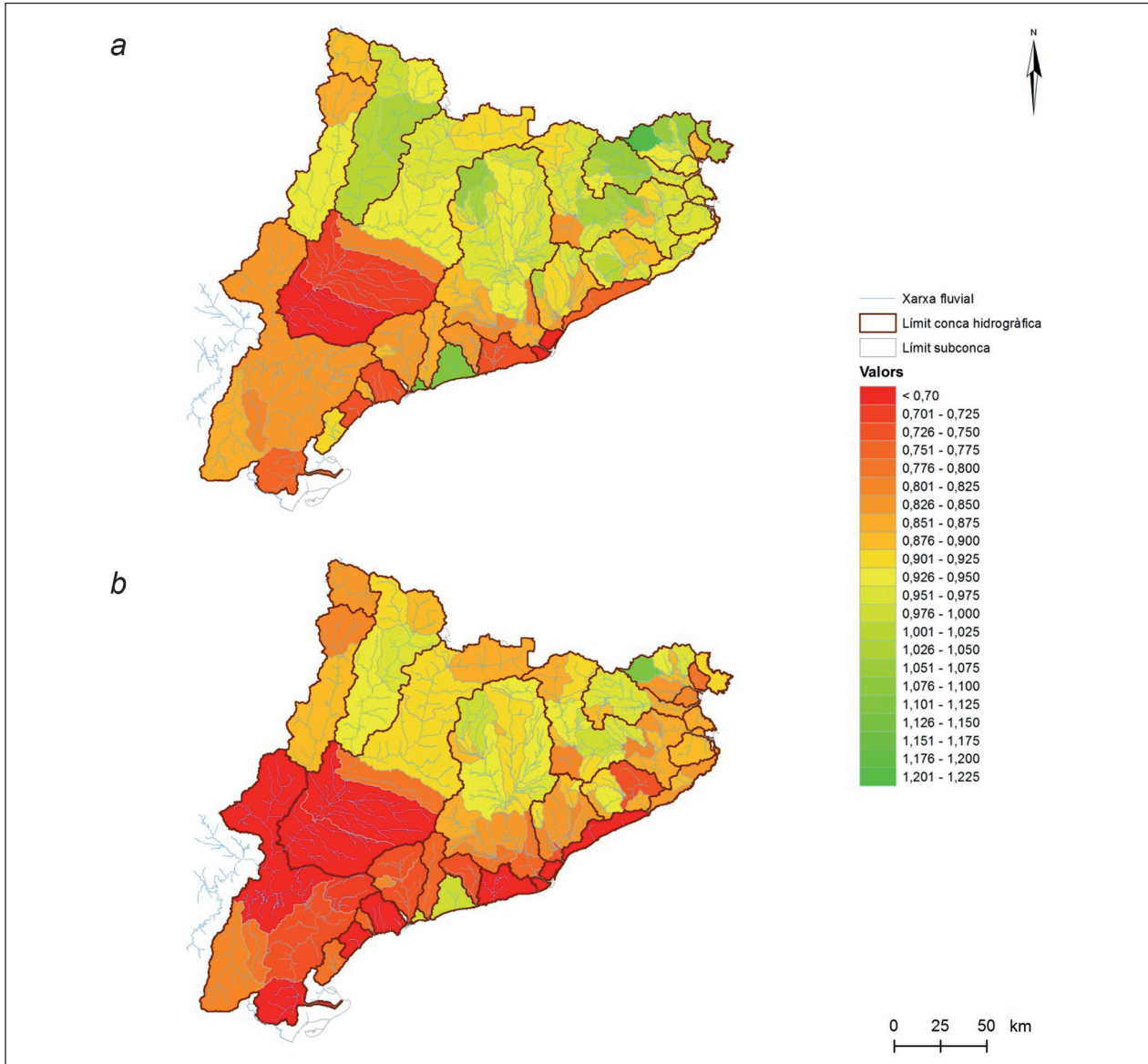


FIGURA 7.6. Distribució territorial de la relació dels recursos hídrics (expressats pel quocient R/P) als horitzons a) 2021 i b) 2051, en relació amb els valors actuals.

dà, que es presenta com una anomalia del càlcul, més que com una tendència significativa).

De manera similar, el cicle hidrològic també es veurà afectat per un canvi en l'estacionalitat pel que fa a com el coneixem actualment. Els valors mitjans mensuals, els quals s'empren habitualment, deixaran de tenir significat i caldrà gestionar els recursos des d'una incertesa més gran, especialment pel que fa a les entrades al sistema. Aquesta estacionalitat, per bé que no ha estat tinguda en compte (per brevetat) en els càlculs que hem presentat, serà fonamental en els esquemes de gestió. D'altra banda, no podem negligir el comportament de la coberta

de neu als Pirineus. La contribució a l'escolament superficial que té és fonamental per al règim hídric dels principals rius catalans (Ter, Llobregat, Segre, Noguera Pallaresa i Noguera Ribagorçana) i per a garantir un cabal continuat durant la primavera, el qual té una influència important en les reserves dels embassaments.

7.5. Conclusions

El coneixement dels efectes del canvi climàtic en els recursos hídrics a Catalunya s'està desenvolupant gràcies a diversos projectes, tant acadèmics com de gestió, alguns ja acabats i d'altres vigents, que els avaluen des de diferents perspectives: 1) la

fenomenològica, per a la qual es té en compte el comportament de les conques hidrogràfiques i els motius dels canvis davant de les variacions climàtiques; 2) la hidrològica, per a la qual es valora la magnitud dels canvis previstos, i 3) la social, per a la qual s'integren els efectes socioeconòmics que la disminució de recursos hídrics pot tenir en els propers decennis.

Tots aquests estudis, els quals han estat sintetitzats en aquest capítol, reflecteixen la singularitat hídrica del país i, en particular, l'heterogeneïtat territorial pel que fa als efectes del canvi climàtic. Per bé que hi ha un factor comú, que és la futura escassetat dels recursos, els estudis permeten identificar zones diferents amb nivells distints de vulnerabilitat. Les diverses projeccions climàtiques que s'han tingut en compte per a les zones pirinenques, de l'interior i del litoral mostren una resposta hídrica paral·lela a les variacions climàtiques per als horitzons del 2021 i del 2051, amb efectes similars tant al centre com al litoral català (conques de Tarragona, Baix Ebre). Aquesta resposta és evident especialment a la meitat meridional, on la disminució dels recursos per al 2051, els quals s'indiquen per la relació entre els quocients R/P , es calcula que serà del 70 % al 75 % dels valors que es registren actualment.

Aquest capítol presenta cartografies inèdites de la disponibilitat futura d'aigua a Catalunya, les quals han estat expressades pel quocient R/P (*aigua blava*), el qual ha estat calculat a partir de la distribució espacial dels usos del sòl, de l'efecte en la proporció entre *aigua verda* (ET/P) i *aigua blava* (R/P) i de les projeccions climàtiques disponibles estimades per Calbó *et al.* en el capítol 5 d'aquest INFORME. Juntament amb les taules que les complementen, els mapes il·lustren la magnitud del canvi climàtic en els recursos hídrics, tant superficials com subterranis, els quals han estat tinguts en compte conjuntament amb el nom conceptual *aigua blava*. Les reduccions de disponibilitat dels recursos —o, dit d'una altra manera, de l'escassetat— s'han xifrat en un 9,4 % a les comarques dels Pirineus, en un 18,2 % a les interiors i en un 22 % a les litorals, fet que evidencia la importància que el canvi climàtic tindrà en la disponibilitat hídrica i en la gestió. En destaquen les estimacions referents a les subconques pirinenques, atès que

condicionaran els recursos hídrics disponibles per a la regulació dels embassaments, elements principals de gestió per als diferents usos antròpics i per a la garantia de les funcions ecohidrològiques del sistema fluvial. Convé remarcar el fet rellevant que el ritme de canvi en la disminució dels recursos hídrics serà més elevat per a l'horitzó de 2021 que entre el 2021 i el 2051. Aquest resultat indica la importància i la urgència que té incorporar el canvi global com un element essencial de la gestió hidrològica. Cal destacar la importància que les modificacions en els usos del sòl tindran en la disponibilitat hídrica a les conques (per generació dels recursos a les capçaleres i pel consum a les parts baixes), fet que suggereix que la gestió territorial és un component fonamental en el procés d'adaptació al canvi climàtic, a fi de garantir la disponibilitat d'aigua tant per a necessitats naturals com per a usos antròpics.

Finalment, cal esmentar la importància de la variabilitat estacional evidenciada per les projeccions climàtiques de Calbó *et al.* (capítol 5) i ressaltada anteriorment per diverses simulacions hidrològiques (Manzano, 2009b; CREAM, 2012). Malgrat que, per simplicitat, els mapes que es presenten es basen en les projeccions anuals, entenem que la gestió dels recursos no es pot desentendre dels canvis estacionals i dels canvis de freqüència de les precipitacions màximes, en la mesura que totes dues modificaran el règim hidrològic i l'accessibilitat als recursos hídrics.

7.6. Recomanacions

L'estimació de la quantitat i la variabilitat dels recursos hídrics disponibles durant els propers decennis és un dels reptes principals de la planificació ambiental, socioeconòmica i territorial a Catalunya. Les projeccions climàtiques, les tendències en el canvi d'usos del sòl i els diversos càlculs efectuats corroboren una reducció de la quantitat d'aigua i un increment de la variabilitat temporal (magnitud i freqüència de sequeres i riuades) els propers anys. En aquest sentit, els processos d'adaptació s'hauran de basar en el control i, si és possible, en la reducció de la demanda, de manera que incidiran en la millora de l'eficiència tant en la distribució dels recursos com en l'ús, sempre amb la doble finalitat de garantir l'abastament i els usos i els serveis ecosistèmics.

L'abastament d'aigua a Catalunya, tant pel que fa a l'ús urbà com a l'agrícola, depèn de grans xarxes que es basen, principalment, en l'aprofitament dels recursos hídrics superficials. L'explotació de recursos locals, especialment subterranis, i la regeneració d'aigües residuals són fonts que, per bé que actualment es poden tenir en compte com a alternatives, han d'arribar a ser molt més importants (gairebé habituals) en les estratègies d'abastament dels propers decennis. De la mateixa manera, els aqüífers que hi ha en àrees urbanes s'han de considerar «recursos de proximitat» que, amb un règim d'explotació i un tractament adequats, podrien estalviar una part important de les derivacions d'aigua dels rius, de manera que podrien alliberar l'aigua necessària per al funcionament correcte dels ecosistemes i donar un nou valor d'oportunitat a les regions situades a les parts baixes i finals de les conques.

La pressió exercida per l'explotació dels aqüífers al·luvials en la relació riu-aqüífer s'incrementarà a causa de l'escassetat hídrica derivada del canvi climàtic. L'explotació de recursos hidrogeològics com els que es troben disponibles en aqüífers profunds, amb temps de trànsit més elevats en el subsòl i, per tant, menys afectats pels futurs canvis en el balanç hídric superficial a curt termini, generaria una pressió més baixa en el medi i, especialment, en els cursos fluvials relacionats amb els aqüífers. Aquests sistemes hidrogeològics profunds, més costosos d'explotar però capaços de proporcionar volums addicionals d'aigua, esdevenen una possible opció complementària a les fonts d'abastament actuals. No obstant això, aquestes fonts profundes presenten el risc de sobreexplotació i en cap cas no seria desitjable abusar-ne en detriment de les fonts superficials. Un ús equilibrat de totes dues pot significar, en moltes àrees, un alleugeriment de la pressió en les fonts de subministrament d'aigua actuals.

Algunes d'aquestes recomanacions ja formen part de les mesures del Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya (ACA, 2015), amb accions concretes per a garantir l'abastament d'aigua. En certa manera, per tant, es tracta d'internalitzar a temps els costos d'aquest procés d'adaptació abans no constitueixin unes externalitats difícils de gestionar, encara més costoses i menys eficients que quan calgui implementar-les amb urgència.

Aquesta recomanació és aplicable tant al sector públic (bàsicament responsable de l'abastament urbà de l'aigua) com al sector privat o mixt (relacionat, principalment, amb l'abastament de l'aigua de reg i de la producció energètica).

En relació amb la vulnerabilitat territorial, determinades zones de Catalunya mostren una disminució notable dels recursos hídrics (*aigua blava*), especialment les comarques de l'interior i les properes al litoral central i meridional. Els mapes mostren un mosaic territorial divers i heterogeni que assenyalava les àrees amb prioritat per a les polítiques d'adaptació. El balanç entre els recursos hídrics disponibles i els usos de l'aigua haurà de ser tingut en compte amb una perspectiva diferent per a cada zona, en tant que no són el mateix les comarques de l'interior que les subconques litorals. Les primeres tenen un ús de l'aigua principalment agrícola i depenen, sobretot, dels recursos superficials; les segones presenten unes necessitats bàsicament urbanes, en alguns casos amb un marcat component estacional (turisme), i depenen de transvasaments i de recursos subterranis prou malmesos i amb un evident increment del risc de salinització (intrusió marina) a causa del canvi climàtic.

Cal destacar el paper de les capçaleres pirinenques en aquest procés d'adaptació, especialment les del Segre, les de la Noguera Pallaresa i les de la Noguera Ribagorçana, com a peces clau del trencaclosques. A més, cal repensar les grans infraestructures i la interconnexió de xarxes i analitzar les capacitats que tenen com a eines de mitigació dels impactes del canvi global en la disponibilitat dels recursos hídrics. Cal també valorar de manera molt concreta la destinació dels recursos hídrics per cobrir necessitats específiques, així com els canvis dels usos del sòl, especialment en relació amb la gestió de la massa forestal, part de la qual serà molt vulnerable a causa de l'augment de l'estrès hídric. Tot plegat obliga a promoure una gestió integrada del territori i una monitorització més àmplia dels processos involucrats en la generació i l'ús dels recursos hídrics, així com de les respostes dels ecosistemes associats a la situació de canvi profund en què es troben immersos. L'anàlisi del balanç cost-benefici de les possibles estratègies d'adaptació esdevé una eina complementària per a avaluar la viabilitat de les diferents propostes, fet pel

qual cal tenir en compte els diferents escenaris possibles, amb l'objectiu d'arribar a una comparimentació fonamentada i equilibrada dels recursos hídrics en l'actual marc de canvi global.

Referències bibliogràfiques

- ACA = AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2002). *Regionalització del sistema fluvial a les conques internes de Catalunya. Aplicació de la Directiva marc en política d'aigües de la Unió Europea (2000/60/CE)*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua.
- (2015). *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya 2016-2021*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua.
- BANGASH, E. F.; PASSUELLO, A.; SÁNCHEZ-CANALES, M. [et al.] (2013). «Ecosystem services in Mediterranean river basin: Climate change impact on water provisioning and erosion control». *Science of the Total Environment*, 458-460, p. 246-255.
- BARRERA-ESCODA A.; CUNILLERA, J. (2010). «Study of the precipitation evolution in Catalonia using a mesoscale model». *Advanced Geosciences*, 26, p. 1-6.
- (2011). «Climate change projections for Catalonia (NE Iberian Peninsula). Part I: regional climate modeling». *Tethys*, 8, p. 75-87.
- BATALLA, R. J.; GOMEZ, C. M.; KONDOLF, G. M. (2004). «Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (Northeastern Spain)». *Journal of Hydrology*, 290, p. 117-136.
- BIROT, Y.; GRÀCIA, C. (2011). «Una visión general del ciclo hidrológico: Agua verde y agua azul. Agua para los bosques y la sociedad en el Mediterráneo. Un difícil equilibrio». Barcelona: EFIMED, p. 17-21.
- BOITHIAS, L.; ACUÑA, V.; VERGOÑÓS, L. [et al.] (2014). «Assessment of the water supply: demand ratios in Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives». *Science of the Total Environment*, 470-471, p. 567-577.
- BUENDÍA, C.; BATALLA, R. J.; SABATER, S. [et al.] (2015). «Runoff trends driven by climate and afforestation in a Pyrenean basin». *Land Degradation and Development*. DOI: 10.1002/ldr.2384.
- BUENDÍA, C.; BUSSI, G.; TUSET, J. [et al.] (2015). «Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment». *Science of the Total Environment*. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.005.
- CALDER, I. R. (2005). *Blue revolution, integrated land and water resource management*. Londres: Earthscan.
- CANDELA, L.; TAMOH, K.; OLIVARES, G. (2012). «Modelling impacts of climate change on water resources in ungauged and data-scarce watersheds. Application to the Siurana catchment (NE Spain)». *Science of the Total Environment*, 440, p. 253-260.
- CENTRO TECNOLÓGICO DEL AGUA (2012). *Medium and long term water resources modelling as a tool for planning and global change adaptation. Application to the Llobregat River basin*.
- CHRISTENSEN, J. H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A. [et al.] (2007). «Regional climate projections». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Cambridge, etc.: Cambridge University Press.
- CONACHER, A. J.; SALA, M. (1998). *Land degradation in Mediterranean Environments of the World. Nature, Extent, Causes and Solutions*. Wiley: Chichester.
- CREAF = CENTRE DE RECERCA ECOLÒGICA I D'APLICACIONS FORESTALS (2012). *Projecte ACCUA: Adaptacions al canvi climàtic en l'ús de l'aigua*. Barcelona: CREAL: Fundació Catalunya la Pedrera.
- DELGADO, J.; LLORENS, P.; NORD, G. [et al.] (2010). «Modelling the hydrological response of a Mediterranean medium-sized headwater basin subject to land cover change: The Cardener River basin». *Journal of Hydrology*, 383, p. 125-134.
- DOLZ, J.; ARMENGOL, J. (2011). *Els recursos hídrics a Catalunya: Dades i conceptes bàsics*. Barcelona: Cambra de Comerç de Barcelona.

- FALKENMARK, M.; ROCKSTROM, J. (2004). *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. Londres: Earthscan.
- FATORIC, S.; CHELLERI, L. (2012). «Vulnerability to the effects of climate change and adaptation: the case of the Spanish Ebro delta». *Ocean & Coastal Management*, 60, p. 1-10.
- FERGUSON, G.; GLEESON, T. (2012). «Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change». *Nature Climate Change*, 2, p. 342-345.
- GALLART, F. (2009). «Canvis temporals observats en les sèries de cabals». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 105-114.
- (2015). «Vulnerabilidades de los recursos hídricos en relación al cambio climático y a sus interacciones con los sistemas terrestres». A: *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, p. 345-352.
- GALLART, F.; LLORENS, P. (2001). «Efectos de los cambios de uso y cubierta del suelo en los aportes del río Ebro y su evolución futura». A: *El curso inferior del Ebro y su delta*. Cantàbria: Universidad de Cantabria, Barcelona; Universidad de Barcelona, p. 51-57.
- (2003). «Catchment management under environmental change: Impact of land cover change on water resources». *Water International*, 28(3), p. 334-340.
- GALLART, F.; DELGADO, J.; BEATSON, S. J. V. [et al.] (2011). «Analysing the effect of global change on the historical trends in water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain)». *Physics and Chemistry of the Earth*, 36, p. 655-661.
- GREEN, T. R.; TANIGUCHI, M.; KOOI, H. [et al.] (2011). «Beneath the surface of global change: impacts of climate change on groundwater». *Journal of Hydrology*, 405, p. 532-560.
- GUIU, R.; POUGET, L.; TERMES, M. (2015). «Selecting an efficient adaptation level to uncertain water scarcity by coupling hydrological modeling and economic valuation». *Water Economics and Policy*, 1(3).
- IBÁÑEZ, C.; PONT, D.; PRAT, N. (1997). «Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: A basis for defining and classifying salt-wedge estuaries». *Limnol Oceanography*, 42, p. 89-101.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de C. Field, V. R. Barros, K. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>> [Consulta: 17 febrer 2016]
- KIM, J. H.; JACKSON, R. B. (2012). «A global analysis of groundwater recharge for vegetation, climate, and soils». *Vadose Zone Journal*, 11(1). DOI: 10.2136/vzj2011.0021RA.
- LLASAT, M. C.; COROMINAS, J. (2010). «Riscos associats al clima». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 243-307.
- MANZANO, A. (2009a). «Exemples de modelització hidrològica en règim mitjà dels rius catalans en escenaris futurs». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 127-141.
- (2009b). «Efectes sobre la variabilitat hidrològica i els fenòmens extrems». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i Canvi Climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 153-165.
- MARTÍN-VIDE, J.; GALLART, F.; LÓPEZ-BUSTINS, J. A. (2011). «Climate change implications for forests and hydrology». A: YVES, B.; GRACIA, C.; PALAHÍ, M. (ed.). *Water for forests and people in the Mediterranean region*. European Forest Institute, p. 131-136.
- MARCÉ, R.; RODRÍGUEZ-ARIAS, M. A.; GARCÍA, J. C. [et al.] (2010). «El Niño-Southern Oscillation and

- climate trends impact reservoir water quality». *Global Change Biology*, 16, p. 2857-2865.
- MAS-PLA, J. (2005). «Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 485-516.
- (2010). «Vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics al canvi climàtic». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 309-342.
- MAS-PLA, J.; FONT, E.; ASTUI, O.; [et al.] (2012). «Development of a stream-aquifer numerical flow model to assess river water management under water scarcity in a Mediterranean basin». *Science of the Total Environment*, 440, p. 204-218.
- MAS-PLA, J.; GHIGLIERI, G.; URAS, G. (2014). «Seawater intrusion and coastal water resources management. Examples from two Mediterranean regions: Catalonia and Sardinia». *Contributions to Science*, 10, p. 171-184.
- MAS-PLA, J.; ORTUÑO, F. (2009). «Anàlisi territorial de la vulnerabilitat dels recursos hídrics davant del canvi climàtic». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 183-194.
- MENCIÓ, A.; FOLCH, A.; MAS-PLA, J. (2010). «Analyzing hydrological sustainability through water balance». *Environmental Management*, 45, p. 1175-1190.
- ORTUÑO, F.; JÓDAR, J.; CARRERA, J. (2009). «Canvi climàtic i recàrrega d'aqüífers a Catalunya. A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Agència Catalana de l'Aigua, p. 143-152.
- ORTUÑO, F.; MOLINERO, J.; GARRIDO, T. [et al.] (2012). «Seawater injection barrier recharge with advanced reclaimed water at Llobregat delta aquifer (Spain)». *Water Science & Technology*, 66, p. 2083-2089.
- PASCUAL, D.; PLA, E.; LOPEZ-BUSTINS, J. A. [et al.] (2014). «Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin». *Hydrological Sciences Journal*. DOI: 10.1080/02626667.2014.947290.
- PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; SABATÉ, S. [et al.] (2005). «Sistemes naturals: ecosistemes terrestres». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 517-553.
- PEÑUELAS, J. [et al.] (2010). «Impactes, vulnerabilitat i retroalimentacions climàtiques als ecosistemes terrestres catalans». A: LLEBOT, J. E. (ed.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 373-407.
- POUGET, L.; ESCALER, I.; GUIU, R. [et al.] (2012). «Global change adaptation in water resources management: The Water Change Project». *Science of the Total Environment*, 440, p. 186-193.
- SAMPER, J.; HUGUET, L.; ARES, J. [et al.] (2005). *User's guide Visual BALAN v. 2.0: Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga*. La Coruña: Civil Engineering School of A Coruña.
- TAYLOR, R. G. [et al.] (2012). «Groundwater and climate change». *Nature Climate Change*, 8.
- TERRADO M.; ACUÑA V.; ENNAANAY D. [et al.] (2014). «Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin». *Ecological Indicators*, 37, p. 199-209.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; ZABALZA-MARTÍNEZ, J.; LÓPEZ MORENO, J. [et al.] (2015). «Changes in extreme hydrological events in highly regulated river basins of Catalonia (NE Spain): discerning between climate change processes, land cover modifications and water resources management». *International Scientific Conference*, p. 1119.
- ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. (2001). «Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale». *Water Resources Research*, 37, p. 701-708.

8 Sistemes costaners i dinàmica litoral

Autors

Agustín Sánchez-Arcilla

Vicente Gracia

Joan Pau Sierra

Manel García-León

César Mösso

Agustín Sánchez-Arcilla és doctor enginyer de camins, canals i ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), i catedràtic del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental de la UPC. Des del 1990 és director del Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC), en el qual desenvolupa l'activitat investigadora en l'àmbit de l'enginyeria marítima (portuària i costanera). És vicepresident del Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC). Ha publicat més de quinze llibres i més de cent trenta articles en revistes nacionals i internacionals.

Vicente Gracia és geòleg i doctor en ciències del mar per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en la qual és professor agregat del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental. És investigador sènior al Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) i al Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC). Ha participat en vint projectes d'investigació i en dotze contractes de transferència universitat-empresa. Ha estat l'investigador principal del projecte europeu iCoast i ha publicat cinc capítols de llibre, divuit articles d'investigació en revistes nacionals i internacionals i més de cinquanta informes tècnics.

Joan Pau Sierra és doctor enginyer de camins, canals i ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Actualment, és catedràtic d'universitat a la UPC. Ha participat en onze projectes europeus, uns vint projectes nacionals de recerca i uns cinquan-

ta contractes de recerca aplicada per a empreses i administracions públiques. Com a resultat d'això, ha publicat més de setanta articles en revistes científiques, quinze capítols de llibre i unes dues-centes comunicacions en congressos.

Manuel García-León és enginyer de camins, canals i ports per la Universitat Politècnica de Catalunya (2012), i màster en enginyeria civil per la mateixa universitat (2013). Ha participat en tres projectes europeus (RISES-AM-, iCoast i DANCERS) i en el desenvolupament d'algoritmes de previsió i diagnòstic de l'estat actual i futur del litoral català. Les seves publicacions inclouen dos capítols de llibre, tres articles de revista, més de quinze comunicacions a congressos internacionals i deu informes tècnics.

César Mösso és doctor en ciències del mar per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), i professor agregat del Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental de la UPC. Des del 1995 és investigador sènior al Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC) i al Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC), on desenvolupa l'activitat investigadora en l'àmbit de l'enginyeria marítima (portuària i costanera). Ha publicat quaranta articles en revistes internacionals, quaranta-una publicacions amb avaluació externa resultant de congressos, setanta-tres comunicacions en congressos i vint-i-cinc informes d'investigació.

Sumari

Síntesi	191
8.1. Introducció	192
8.2. Sistemes costaners i dinàmica litoral	192
8.2.1. Geodiversitat de la costa catalana	192
8.2.2. «Pressions» considerades	193
8.2.2.1. El nivell del mar	193
8.2.2.2. L'onatge	194
8.2.3. Impactes projectats (metodologia)	194
8.2.3.1. Els impactes a les platges	194
8.2.3.1.1. L'erosió de les platges.....	195
8.2.3.1.2. La inundació (marina) de la costa.....	196
8.2.3.2. Els impactes als ports	197
8.2.3.2.1. Impactes causats per la variació del nivell del mar	197
8.2.3.2.2. Impactes causats per canvis en els patrons d'onatge	197
8.2.4. Aplicació a les zones costaneres	198
8.2.4.1. El domini costaner	198
8.2.4.2. Risc a les platges	200
8.2.4.3. Risc als ports	204
8.3. Conclusions	207
8.4. Recomanacions	208
Referències bibliogràfiques	209

Síntesi

Aquest capítol tracta de la projecció dels impactes de climes futurs per a trams vulnerables de la costa catalana. Al començament, s'hi revisa la geodiversitat de la costa en termes meteorològics i geològics. El ventall d'impactes que en resulta (sota climes presents i futurs) presenta uns nivells d'incertesa que s'han de considerar per a poder prendre decisions. L'anàlisi es basa en les projeccions del nivell mitjà del mar i en les característiques de l'onatge per a les famílies d'escenaris RCP (trajectòries de concentracions representatives). La projecció dels impactes d'erosió i inundació per a platges i d'agitació i ultrapassament per a

ports permet determinar quin és el domini costaner sotmès a aquests impactes, i també quins seran els nivells de risc que es poden esperar en platges i ports. Les conclusions del capítol s'estructuren com un seguit d'actuacions seqüencials per a afavorir la sostenibilitat de la costa. Aquest «camí d'adaptació» permetrà d'assolir uns nivells de riscos presents i futurs explícits, que han de ser considerats per a les activitats socioeconòmiques de la zona litoral.

Paraules clau

clima costaner, erosió, inundació marina, ultrapassament, agitació portuària

8.1. Introducció

Els sistemes costaners són dinàmics i contenen una elevada diversitat, tant natural com antròpica. La seva resposta a factors meteorològics i oceanogràfics és molt variada, tant per a climes presents com, particularment, per a climes futurs. Això implica que els nivells de risc futurs (producte de la perillositat per la vulnerabilitat i l'exposició) associats a les activitats socioeconòmiques de la zona costanera presentaran una variabilitat important. No obstant això, no permet de posposar la planificació d'una estratègia per a afavorir la sostenibilitat de la costa davant d'un canvi de clima. Això és especialment cert per a la costa catalana, que proporciona un ventall important de serveis naturals per a les activitats humanes al litoral.

L'objectiu d'aquest capítol és projectar els impactes ocasionats pel nivell del mar i les tempestes d'onatge sobre la costa catalana. Per això es comença analitzant les principals característiques morfodinàmiques (associades a l'evolució geològica a curt termini) d'aquesta costa i els escenaris climàtics futurs (component físic, RCP) del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC). A partir d'aquí, es consideren els impactes potencials, primer per a les platges i després per als ports. Això permet de cobrir els dos principals sectors d'activitat costanera en els quals l'impacte del clima afectarà directament els nivells de risc. Per il·lustrar aquestes projeccions s'han triat exemples d'alta vulnerabilitat (amb un nivell de danys produït per un factor o conjunt de factors), tant de platges (per exemple, zones deltaïques) com de ports (per exemple, dics amb ultrapassaments freqüents). Les àrees més vulnerables són les platges urbanes, que tenen una capacitat reduïda d'autodefensa, i les zones deltaïques, que la manca de sediment causada per la regulació dels rius i la baixa topografia i subsidència fa sensibles als impactes combinats de l'erosió i la inundació.

L'impacte sobre platges i ports es basa en la funcionalitat (per exemple, l'ample de platja o l'ultrapassament o volum que passaria per sobre d'una estructura portuària) i en la resistència (per exemple, l'estabilitat davant d'un canvi en el nivell del mar o en les característiques de l'onatge). L'aplicació d'aquesta anàlisi a la costa catalana ha permès

d'il·lustrar els nivells futurs de risc per a diferents escenaris climàtics en funció de la tipologia de platja o port que es consideri. Per tal de limitar els nivells de risc que es poden esperar en un futur proper, serà necessari planificar un seguit d'actuacions esglaonades en el temps (per exemple, primer aportar sediment artificialment i després retrocedir ordenadament). Aquesta seqüència o pla s'anomena *camí d'adaptació* i s'explora al final del capítol, el qual finalitza amb unes recomanacions d'adaptació per a afavorir la sostenibilitat futura de la costa.

8.2. Sistemes costaners i dinàmica litoral

8.2.1. Geodiversitat de la costa catalana

El litoral català té una longitud aproximada de 700 km i presenta una gran varietat d'ambients litorals. Hom hi pot trobar des de platges de sorra, de gra fi o gruixut, (obertes, tancades, petites o llargues), fins a penya-segats rocallosos. A grans trets, les principals unitats morfològiques que hom pot distingir són, de sud a nord: a) el delta de l'Ebre i la costa sorrenca baixa de la Costa Daurada i el Garraf; b) el tram central Barcelona-Maresme, de platges de sorra gruixuda, fortament fragmentat per la presència de ports i espigons, i c) les cales, platges encaixades i penya-segats al nord.

Les platges, a causa de la seva naturalesa dinàmica, són els sistemes més susceptibles als efectes del canvi climàtic. Catalunya disposa d'uns 256 km de platges (59 km a la província de Girona, 79 km a la de Barcelona i 118 km a la de Tarragona), la major part de les quals (150 km) es troben en ambients urbans. Les platges urbanes són limitades per un passeig marítim o per altres tipus d'infraestructures, com ara carrers, carreteres, vies fèrries i cases. En els últims anys, la construcció i el manteniment de passejos marítims ha estat una de les principals inversions realitzades.

Per la seva singularitat, el delta de l'Ebre, amb 51 km de costa amb interrupcions antròpiques mínimes, representa l'ambient natural de major rellevància. La Costa Daurada i el Garraf presenten, com a tret diferencial, platges llargues de baixa cota i de sorra fina. La part central de la costa es troba sota la influència de la zona metropolitana de

Barcelona i conté la major part dels ports esportius i assentaments urbans. L'activitat econòmica de la zona ha creat un paisatge costaner molt fragmentat a conseqüència de les infraestructures portuàries i de diverses intervencions de protecció.

D'acord amb les dades del Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC, 2010), les platges de Catalunya es distribueixen al llarg de vint-i-dues cel·les litorals, és a dir, d'unitats fisiogràfiques sense intercanvis de sediment en els contorns laterals. D'acord amb el mateix estudi, la platja mitjana de Catalunya fa uns 37 m d'amplada, té una mida de gra de 0,7 mm i un pendent de la cara de la platja d'1/10. La distribució espacial de sediments (de 0,2 mm a 1,8 mm) reflecteix, en part, les diferències en les característiques dels rius i rieres que històricament han actuat com a fonts de sediments a la costa. Així doncs, les platges dins l'àrea d'influència de rius llargs i/o amb grans conques de drenatge (l'Ebre, el Llobregat i el Ter) presenten una mida de gra fina, mentre que les platges originalment alimentades per cabals sòlids efímers (en general molt curts i, per tant, amb un pendent elevat) presenten una mida del sediment més gruixuda. La construcció de ports i obres de defensa, juntament amb la dràstica reducció de la capacitat de transport sòlid dels rius (a causa d'una forta regulació dels cabals), ha pertorbat aquest model de distribució del sediment. Aquest nou escenari ha obligat a mantenir artificialment les platges per a seguir donant suport al turisme que s'hi desenvolupa.

El sistema portuari català es compon de més de cinquanta infraestructures portuàries, de les quals dues corresponen a autoritats portuàries, dues són ports industrials i la resta conformen el sistema de ports esportius i d'activitat pesquera (desenvolupada en disset instal·lacions), gestionat directament o indirectament per la Generalitat de Catalunya, amb una oferta de més de 28.000 amarratges.

El ventall de dimensions dels ports és molt ampli: inclou des de ports de petites dimensions, com el port esportiu de Cala Canyelles, amb 134 amarratges i una bocana de 4 m de fondària, fins al port de Mataró, amb capacitat per a 1.080 embarcacions i una bocana situada a 8 m de profunditat. Les

obres de recer les conformen, principalment, dics en talús d'esculleres o elements de formigó, en els ports més grans. Les cotes de coronació (el nivell més alt de l'estructura) es troben, normalment, entre els 4 m i els 8 m, atesa la condició d'obres no ultrapassables.

L'impacte d'aquesta xarxa en l'economia catalana i espanyola és evident. Així, per exemple, el port de Barcelona es troba entre els primers ports del món com a base per a turisme de creuers i és un dels ports més importants en moviment de mercaderies de la Mediterrània, ja que significa l'1,4 % del valor afegit brut català. En aquesta línia, els ports de la Generalitat de Catalunya van tenir uns ingressos per prestació de servei d'uns 14 M€ durant l'exercici 2014 (Ports de la Generalitat, 2014).

8.2.2. «Pressions» considerades

8.2.2.1. El nivell del mar

Per a ser conscients de l'evolució del nivell del mar, es pot fer una comparació entre les projeccions fetes per l'IPCC al *Quart informe d'avaluació* o AR4 (IPCC, 2007) i les del *Cinquè informe d'avaluació* o AR5 (IPCC, 2013). Així, en l'AR4, en l'escenari més benigne (el B1), els models preveïen increments de 18 cm a 38 cm per al període 2081-2100 respecte al període 1980-1999, és a dir, pujades entre 1,7 mm/any i 3,6 mm/any. En el pitjor escenari de l'AR4 (l'A2), les projeccions indicaven increments de 26 cm a 59 cm cap a final del segle XXI, cosa que significaria pujades entre 2,5 mm/any i 5,6 mm/any. En l'escenari intermedi A1B, considerat un dels més versemblants, les previsions indicaven increments de 21 cm a 48 cm a final de segle, o bé pujades entre 2,0 mm/any i 4,6 mm/any. D'altra banda, per a un escenari relativament benigne de l'AR5 (RCP2.6), les projeccions indiquen increments de 26 cm a 55 cm per al període 2081-2100 respecte al període 1986-2005, que representen pujades entre 2,7 mm/any i 5,8 mm/any. Per tant, el millor escenari actual preveu pujades del nivell del mar similars a les del pitjor escenari de l'AR4. En el pitjor escenari actual (RCP8.5), les pujades projectades varien entre els 45 cm i els 82 cm, fet que significa augments de 4,7 mm/any a 8,6 mm/any. Els canvis entre l'AR4 i l'AR5 no es deuen a canvis en els escenaris d'emissions; de fet, els es-

cenaris de l'AR4 (B1, A1B i A2) són prou semblants als escenaris de l'AR5 (RCP1.3, RCP6.0 i RCP8.5, respectivament). La raó dels increments del nivell mitjà del mar són les noves estimacions, més altes, de la quantitat de gel continental que es pot fondre en cada escenari d'emissions.

Cal tenir en compte que les xifres esmentades fan referència a mitjanes globals. Els canvis passats indiquen que, geogràficament, la pujada del nivell del mar no és uniforme a causa de diversos factors, entre els quals hi ha la circulació oceànica, per la qual cosa també es preveu que tampoc no ho serà en el futur (Slangen *et al.*, 2014, entre d'altres). Si bé encara no hi ha projeccions detallades a escala regional, sí que es pot dir que en l'informe de l'IPCC del 2013 els mapes sobre la pujada del nivell del mar indiquen que les projeccions per a la Mediterrània mostren pujades lleugerament inferiors a les mitjanes globals, de fins a un 10 % de diferència. La major part de les projeccions regionals disponibles a hores d'ara corresponen a l'AR4, i encara no hi ha projeccions detallades a escala regional per a l'AR5. Malgrat això, i a partir de les dades del Med-CORDEX, s'han obtingut estimacions que situen el nivell mitjà de la mar Mediterrània entre els valors globals i 10 cm per sobre, a causa de la sobreelevació de l'Atlàntic NE, cosa que forçaria, per mitjà d'intercanvis de massa amb la Mediterrània, aquesta diferència relativa a la mitjana global (Gomis *et al.*, 2015).

Un altre factor a considerar és la variació en els nivells de terra, ja que, en realitat, el que és rellevant és la pujada relativa del nivell del mar. Els nivells de terra es poden moure cap a dalt o cap a baix a causa de pujades isostàtiques, moviments tectònics i subsidència. En el cas de Catalunya, com a la resta de zones costaneres mediterrànies, aquesta última causa predomina en els ambients deltaics, en els quals cal esperar una pujada relativa del nivell del mar superior a l'ocasionada només per la variació del nivell oceànic.

Finalment, cal tenir en compte que, a escala regional, els potencials canvis en els patrons atmosfèrics (camps de vent i pressió) poden induir canvis en el nivell del mar i en els patrons de marees meteorològiques. Les primeres avaluacions d'aquests efectes, basades en les projeccions de

l'AR5, s'estan duent a terme, però tots els estudis fets a partir d'escenaris de l'AR4 indiquen que els canvis en la contribució de pressió i vent sobre el nivell del mar mitjà de la Mediterrània serien petits a final d'aquest segle (Jordà *et al.*, 2012).

8.2.2.2. L'onatge

Pel que fa a l'onatge, l'obtenció de projeccions regionalitzades basades en l'AR5 està, actualment, en curs. La major part de les projeccions existents a l'àrea de la Mediterrània es basen en l'AR4 (Casas-Prat *et al.*, 2013). En el cas de la costa catalana, Casas-Prat *et al.* (2013) van obtenir el clima d'onatge projectat al nord-oest de la Mediterrània per a l'escenari A1B (AR4), utilitzant cinc combinacions de models globals (GCM) i regionals (RCM) de circulació atmosfèrica, amb una elevada resolució espacial (25 km) i temporal (3 h). En aquest estudi es va obtenir una reducció de la mediana de l'altura d'ona significant (*Hs*) a la major part del domini, que es correspon amb una disminució de la velocitat del vent a gran part de la Mediterrània occidental. No obstant això, a latituds properes al golf de Gènova, l'increment projectat per a la velocitat mitjana del vent produiria un augment de la mediana de la *Hs* en aquella zona. A més a més, el clima d'onatge mostra patrons molt diferents a l'estiu (per la qual cosa la mediana de la *Hs* augmentaria a la part sud de la costa) respecte de l'hivern.

Els resultats de Casas-Prat *et al.* (2013) són coherents amb els obtinguts per Lionello *et al.* (2008) per a l'escenari A1B. En general, els canvis màxims que es poden esperar a la costa catalana, tant anualment com estacionalment, segons les projeccions obtingudes per a aquest escenari, estan al voltant del $\pm 10\%$ per a condicions mitjanes (la mediana de la *Hs*) i del $\pm 20\%$ per al clima extrem. Els resultats també projecten canvis en la distribució de les freqüències direccionals.

8.2.3. Impactes projectats (metodologia)

8.2.3.1. Els impactes a les platges

La interacció entre els agents impulsors, fonamentalment el nivell mitjà i l'onatge, amb el sediment existent (mitjançant la morfologia del fons) i el sediment aportat (mitjançant el cabal sòlid de rius i rieres, o artificialment) conforma el que ano-

menem *morfodinàmica*. Qualsevol modificació en algun d'aquests elements modifica els altres. Així, per exemple, un augment de l'altura de l'onatge en trencants comporta un increment del transport de sediment i una redistribució de la sorra, tant en planta com en perfil, que alhora modifica les característiques de l'onatge incident. Aquesta complexa relació té lloc a diferents escales de temps i espai.

Els estudis de dinàmica litoral simplifiquen el problema analitzant de manera aïllada alguna de les escales en què s'identifiquen els processos més rellevants (Stive *et al.*, 2002). Així, en el domini temporal parlem de canvis a curt termini (o episòdics), a mitjà termini i a llarg termini.

Els canvis episòdics reflecteixen l'impacte dels temporals d'onatge a la costa i solen afectar des de centenars de metres fins a kilòmetres de costa. Els processos i les perillositats més rellevants són l'erosió i la inundació induïdes per l'acció combinada de les ones i el nivell mitjà del mar. En ambdós casos, els processos són entesos des d'un punt de vista fonamentalment transversal a la platja. Els canvis a mitjà termini s'associen a una escala de temps d'anys i poden afectar trams de costa de diversos kilòmetres. A aquestes escales, l'erosió induïda per l'onatge és un dels principals processos associats, i té un component marcadament longitudinal (els canvis induïts pel transport longitudinal de sediment en són l'element principal). Finalment, es parla de *canvis a llarg termini* quan l'escala temporal d'integració és de centenars d'anys. Novament, l'erosió és el procés més rellevant, que en aquest cas afecta trams de costa de desenes de kilòmetres. A aquesta escala, el nivell mitjà del mar és el factor determinant d'aquests canvis, i el procés es considera en una dimensió transversal.

8.2.3.1.1. L'EROSIÓ DE LES PLATGES

Generalment, l'erosió de la costa és considerada un problema quan impedeix o dificulta alguna de les funcions bàsiques d'una platja, que bàsicament consisteixen a: *a)* ser el suport físic d'un seguit d'ecosistemes naturals (funció natural), *b)* protegir de l'acció de les onades les infraestructures que es troben al darrere (funció de protecció) i *c)* ser el domini en el qual es desenvolupa la major part de l'activitat turística (funció recreativa). La major part de les activitats antròpiques es concentren a la

zona emergida (platja seca) i poc fonda de la platja, a fondàries no superiors als 3 m. Per aquest motiu, l'evolució de la línia de la costa, i més concretament el retrocés, té una gran utilitat a l'hora d'avaluar-ne els impactes. L'ample de platja emergida és una de les altres variables d'interès, perquè indica el grau de protecció que un tram de costa pot arribar a oferir en unes condicions d'alta energia.

L'erosió expressa la diferència negativa entre la quantitat de sediments entrant i sortint en un determinat volum de platja. En aquest balanç, cal definir els intervals de temps i espai sobre els quals es realitza la integració. Així, per exemple, a escala episòdica, un temporal acostuma a portar associat un retrocés de la línia de la costa. Des del punt de vista de la gestió de costes es considera que el temporal ha causat una erosió i, per tant, es dissenyen les mesures compensatòries necessàries per a seguir amb l'activitat existent. No obstant això, si aquests canvis s'integren en tot el perfil, mantenint l'escala de temps, el balanç que en resulta és zero, perquè el que realment s'ha produït és una redistribució del sediment des de la part emergida del perfil cap a zones més profundes. Aquest sediment es pot tornar a incorporar a la part superior del perfil de la platja o a platges adjacents sempre que es donin les condicions hidrodinàmiques adequades (un onatge reconstructor que indueixi un transport de sediment cap a terra), si bé el procés té lloc a una escala de temps superior, de mesos o anys. Una de les maneres habituals d'avaluar els canvis originats per l'onatge incident és utilitzar models numèrics de transport transversal de sediments.

A mitjà termini, l'erosió de la costa expressa el dèficit de sediment que resulta de la integració dels canvis a l'escala d'unes poques desenes d'anys dins d'una cel·la litoral (de diversos kilòmetres) o tram de costa. Un exemple pot ser l'erosió observada a les platges del Prat i de Gavà, dins la cel·la litoral 8 (CIIRC, 2010). L'efecte barrera del port de Barcelona i el port Ginesta, la quasi nul·la aportació de sediment útil per part del riu Llobregat i l'existència d'una fondària a partir de la qual els canvis són irrellevants (profunditat de tancaament) produeixen l'aïllament sedimentari d'aquest tram de costa. El resultat és un seguit de platges amb diverses orientacions, a causa de l'orogra-

fia existent, amb una quantitat de sorra limitada i sotmeses als corrents induïts pel trencament de l'onatge i el transport del sediment associat. Aquestes orientacions permeten de diferenciar la cel·la en un seguit de trams més petits, en els quals el transport longitudinal de sediment és diferent i, per tant, pot esdevenir erosiu, com passa a la platja de Gavà. La interacció de l'onatge amb altres estructures, com per exemple el dic de recer del port de Barcelona, pot provocar un increment de les taxes de transport i augmentar els punts erosius o generar-ne de nous, com és el cas de la platja del Prat. De manera integrada, la cel·la presenta un balanç nul, malgrat que la dinàmica litoral local hagi generat l'erosió d'alguns trams en els quals surt més sorra pels contorns laterals de la que entra. El càlcul de la dinàmica longitudinal de sediments té, com es pot veure, una importància vital a l'hora de quantificar els canvis d'una platja a aquesta escala. Hi ha una gran quantitat d'equacions que determinen el transport longitudinal de sediments en un tram de costa a causa de l'acció de les onades en trencants, si bé la fórmula del Centre de Recerca en Enginyeria Costanera (CERC) i la de Kamphuis (USACE, 2006) són dues de les més utilitzades en el camp de l'enginyeria de costes.

A llarg termini, es considera que els canvis de la platja són governats per les variacions del nivell mitjà del mar. Aquests canvis afecten desenes de kilòmetres de costa i són més visibles quan s'integren en períodes de temps llargs (centenars d'anys). Una de les aproximacions més utilitzades per a explicar els canvis que experimenta la costa quan varia el nivell mitjà del mar és el model de comportament proposat per Bruun (USACE, 2006). Tot i així, aquest model també s'ha posat en dubte, i se n'han proposat diverses modificacions. Bruun suggereix l'existència d'un perfil en equilibri (invariable respecte a l'onatge incident) que respon aixecant-se i retrocedint quan es produeix un augment del nivell mitjà del mar. L'evidència d'aquest comportament ha estat contrastada amb el comportament de platges barrera al llarg del registre geològic, i molt especialment durant el període Holocè (Schwartz i Fisher, 1980).

Els impactes del canvi climàtic sobre el comportament erosiu d'una platja comporten avaluar-lo,

forçosament, des d'un punt de vista numèric, definint en cada cas l'escala temporal i espacial d'estudi. Així, les possibles variacions de les característiques actuals dels temporals (en l'altura, el període, la direcció o la freqüència d'aparició de l'onatge) s'han d'analitzar des d'un punt de vista local. A mitjà termini cal abordar la problemàtica tenint en compte el càlcul del transport longitudinal de sediments corresponent a un nou clima d'onatge, mentre que a llarg termini l'erosió és tractada de manera més regional, aplicant la regla de Bruun.

8.2.3.1.2. LA INUNDACIÓ (MARINA) DE LA COSTA

Les zones topogràficament baixes, com ara l'àrea costanera, són susceptibles de patir inundacions d'origen fluvial o marí. La combinació de totes dues resulta, normalment, de condicions agreujades tant pel nivell de la inundació com per la durada i la intensitat. En aquest capítol, només considerem la inundació d'origen marí, atès que els rius principals, com ara l'Ebre, estan molt regulats i que les inundacions «impulsives», del tipus *flash-flood*, típiques de les rieres d'aquesta zona mediterrània, queden fora de l'abast d'aquesta anàlisi.

La remunta de l'onatge es defineix com la cota màxima respecte al nivell mitjà del mar que assoleix una onada en incidir sobre una platja. Si el valor de la remunta supera la cota superior de la platja, es produeix un ultrapassament de l'onada i, consegüentment, una inundació de la part posterior. Les aproximacions de càlcul més utilitzades expressen la remunta com una relació entre el pendent de la platja i el peralt de l'onatge (una recopilació de les funcions més utilitzades es pot trobar a USACE, 2006).

En ambients costaners urbanitzats, i Catalunya n'és un exemple, la inundació costanera pot comportar grans pèrdues econòmiques derivades del malmetement d'infraestructures que no estan dissenyades per a resistir canvis, sobtats o lents, en l'acció del mar (Gracia *et al.*, 2014; Sánchez-Arcilla *et al.*, 2014; García-León *et al.*, 2015). La inundació pot tenir lloc en condicions de temporal i/o nivell mitjà del mar alt, i està fortament relacionada amb la topografia local. Si l'onatge incident és suficientment gran i persistent, pot produir la remodelació de la part superior d'una platja, i la

pot fer més vulnerable a aquest procés. Per això, l'estudi de la inundació se sol realitzar a partir de la definició d'un conjunt d'escenaris hidrodinàmics (combinació d'ones i nivell mitjà del mar) i de morfologia de la costa (configuració de la platja més desfavorable) que representin les condicions teòriques d'interès.

La pujada del nivell del mar dibuixada en els diferents escenaris de canvi climàtic incidirà directament en la capacitat de resistència de la costa davant de l'acció de la remunta, ja que disminueix la cota en la qual es troba el punt més elevat del terreny i, per tant, el nivell topogràfic de l'última defensa. D'altra banda, en ambients costaners molt baixos, com per exemple els deltes, la simple pujada del nivell mitjà del mar pot arribar a inundar grans extensions.

Com es pot veure, doncs, l'efecte del canvi climàtic sobre la inundació costanera és doble: per mitjà dels canvis en les condicions d'onatge de temporal (un efecte episòdic que pot ser positiu o negatiu), i per mitjà de la pujada del nivell mitjà del mar.

8.2.3.2. Els impactes als ports

8.2.3.2.1. IMPACTES CAUSATS PER LA VARIACIÓ DEL NIVELL DEL MAR

Els principals impactes directes potencials de la pujada relativa del nivell del mar als ports són l'ultrapassament dels dics de recer i la inundació de molls i superfícies portuàries. Addicionalment, la variació del nivell del mar modifica la profunditat de l'aigua als voltants dels ports i, per tant, els patrons de propagació de l'onatge, cosa que afecta, potencialment, l'estabilitat i el soscavament dels dics, l'aterrament (entrada de sediments) i l'agitació (ones a l'interior del port). En aquests casos, els canvis poden ser positius o negatius, i requereixen un estudi específic per a cada cas.

Un dels efectes més impressionants de la pujada del nivell del mar sobre els ports és l'increment de l'ultrapassament dels dics, a causa de la reducció del francbord o distància vertical entre la cota de coronació de l'estructura i el nivell del mar. La quantitat d'ultrapassament tolerable depèn de l'estructura i, concretament, de les activitats, instal·lacions i béns que hi ha al costat interior del dic.

L'existència de carreteres, edificis, magatzems o vaixells atracats imposa condicions més restrictives en el cabal d'ultrapassament admissible (USA-CE, 2006). El cabal que ultrapassa una estructura marítima és fruit de la morfologia de l'estructura, del francbord i de l'altura d'ona que hi arriba. Per a estimar aquest cabal hi ha diversos mètodes, incloent-hi models numèrics, expressions empíriques i xarxes neuronals (USACE, 2006).

D'altra banda, la reducció del francbord dels molls causada per la pujada del nivell del mar pot afectar els ports, i pertorbar les operacions d'atracament de vaixells i la càrrega o descàrrega de mercaderies. A més a més, alguns molls o infraestructures, com ara carreteres i vies de tren, es poden inundar sempre que es trobin en una cota inferior al nivell del mar, i poden afectar i interrompre potencialment els accessos al port i les operacions que hi tenen lloc.

8.2.3.2.2. IMPACTES CAUSATS PER CANVIS EN ELS PATRONS D'ONATGE

A més de la pujada del nivell del mar, cal tenir en compte, també, que les interaccions atmosfèriques complexes produïdes per l'efecte d'hivernacle poden modificar els patrons de vent i de pressió atmosfèrica i, per tant, l'onatge (Wang *et al.*, 2009). En els darrers anys, s'han portat a terme diversos estudis que han analitzat els impactes potencials dels canvis en els patrons de l'onatge sobre àrees costaneres concretes, alguns centrats en l'erosió costanera (Casas-Prat *et al.*, 2015) i d'altres centrats en els impactes sobre l'operativitat portuària (Casas-Prat *et al.*, 2010 i 2012). Sierra *et al.* (2014) han analitzat, també, els principals impactes que les alteracions en els patrons d'onatge poden produir en les infraestructures costaneres, incloent-hi els ports. Segons aquest estudi, els principals impactes potencials són els canvis en l'agitació, l'aterrament del port, l'ultrapassament, el soscavament i la pèrdua d'estabilitat de les estructures portuàries.

Per a poder portar a terme les seves operacions, els ports han de minimitzar la inactivitat provocada per condicions climàtiques adverses de vent, corrents i, en particular, l'onatge a dins del port. L'estudi de l'agitació a dins del port (variacions causades per ones de curt període) només es pot

dur a terme mitjançant models numèrics o físics, a causa de la complexitat dels fenòmens implicats.

D'altra banda, molts ports d'arreu del món pateixen problemes d'aterrament, fet que implica despeses costoses de dragat. La taxa d'aterrament és fruit d'una combinació de processos: corrents mareals, arrossegament horitzontal, corrents de densitat i efectes barrera per als corrents longitudinals (USACE, 2006). L'aterrament produït per qualsevol d'aquests processos és afectat per la disponibilitat de sediment fora del port i pels fluxos d'aigua que poden mobilitzar aquests sediments cap a la bocana del port. Suposant que la quantitat de sediment és il·limitada, Sierra *et al.* (2014) han mostrat que l'aterrament és particularment sensible a canvis en l'altura d'ona i, en menys grau, a canvis en la direcció de l'onatge.

El soscavament consisteix en l'eliminació del material granular del fons en les proximitats de les estructures marítimes a causa de forces hidrodinàmiques que arrosseguen el material. Aquest procés pot ocasionar danys parcials o, en alguns casos, el col·lapse de part o de tota l'estructura (USACE, 2006), i depèn directament de l'altura d'ona: les ones més altes produeixen taxes de soscavament més grans. També depèn del talús de l'estructura i de la profunditat relativa a la qual està situada: els talussos més grans produeixen més reflexió i, per tant, més soscavament; també, les estructures localitzades en aigües més someres estan sotmeses a més erosió del material de la base. Tenint en compte això, els dics de ports situats en aigües poc profundes i amb pendents grans seran els més afectats pel soscavament a causa de canvis en les altures d'ona.

L'estabilitat estructural també es pot veure afectada per modificacions en el clima d'onatge. En el cas de dics en talús, el disseny es basa en el càlcul del pes dels blocs del mantell principal, que és proporcional al cub de l'altura d'ona significant a la localització de l'estructura. Això implica que petits increments en l'altura d'ona generaran grans augments en el pes necessari per als blocs del dic. En el cas dels dics verticals, l'augment de l'altura d'ona produirà tensions més grans sobre l'estructura, reduirà els coeficients de seguretat en el lliscament i en la bolcada i, eventualment, en produirà

el col·lapse. Pel que fa al cabal d'ultrapassament de les estructures portuàries, es relaciona directament amb la magnitud de les ones que incideixen sobre l'estructura. Sierra *et al.* (2014) han trobat que l'ultrapassament és, de fet, el procés més afectat pels canvis en l'altura de les ones, seguit per l'estabilitat de les estructures.

Finalment, hi ha altres impactes potencials sobre els ports que aquí no s'analitzen, tot i que també mereixen una menció: a) la pujada de temperatura pot fer que a l'estiu es multipliquin els casos de blooms d'algues, amb tot el que això comporta, i b) el fet que cada dia s'emprin vaixells de més envergadura fa que siguin més sensibles al vent; es poden perdre més dies d'operativitat a causa de la incidència directa del vent sobre els vaixells.

En qualsevol avaluació de l'impacte del canvi climàtic sobre els ports, s'haurà de tenir en compte, per tant, la combinació de diferents mecanismes generadors d'impacte, com ara la pujada del nivell del mar i els canvis en els patrons d'onatge. En el cas que ambdós factors tinguin lloc simultàniament, es generaran interaccions no lineals que només es podran calcular per a cada lloc i geometria estructural concrets. En alguns casos, com el de l'ultrapassament, un nivell del mar més alt amb ones més grans potenciarà els impactes negatius sobre el port. En altres casos, la superposició d'ambdós canvis no és tan clara, i fins i tot es podrien compensar entre si. Per exemple, la pujada del nivell del mar modificarà els patrons de propagació de l'onatge i podria reduir el coeficient de somatge o *shoaling* en una magnitud similar a l'increment de l'altura d'ona en aigües fondes a causa del canvi climàtic. El resultat seria un impacte negatiu negligible sobre la infraestructura i la gestió del port.

8.2.4. Aplicació a les zones costaneres

8.2.4.1. El domini costaner

Per a qualsevol aplicació a la zona costanera cal definir-ne, primer, els contorns. Aquesta zona, frontera entre mar i terra, caracteritza l'acció simultània de factors marins i terrestres. Malgrat això, el domini costaner des del punt de vista geomorfològic és diferent que des del punt de

vista ecològic, des del qual es considera la zona costanera com un ecotò o zona de transició entre ecosistemes terrestres i marins. Des del punt de vista econòmic, la zona costanera es caracteritza pels usos i recursos que comporta el sistema socioeconòmic establert.

Amb el canvi de clima, la pujada del nivell mitjà del mar provocarà pèrdues importants de zones costaneres baixes, tal com il·lustra la figura 8.1. Això implicarà una evolució cap a terra endins del límit superior de l'acció dels factors marins, un dels criteris base per a la definició de la zona costanera des del punt de vista geomorfològic. El resultat pot ser un domini costaner que inclogui edificis i infraestructures i que no sigui, per

tant, compatible amb la dinàmica natural. Aquest punt queda il·lustrat a la figura 8.2, per al cas d'una ciutat costanera com és Barcelona. Així, la definició del domini costaner i l'aplicació de les anàlisis a aquesta zona requereixen considerar, també, la variabilitat i els contorns d'aquest domini. Per exemple, els canvis que experimenta la frontera entre factors terrestres i marítims en condicions de calma i en condicions de tempesta; o en condicions de clima present i amb un nivell mitjà del mar 1 m per sobre de l'actual. La definició del domini també ha de considerar la incertesa, ja que el nivell mitjà del mar projectat per a diferents escenaris pot arribar a valors ben diferents, segons el nivell de probabilitat que es decideixi considerar. Com a il·lustració, la ten-

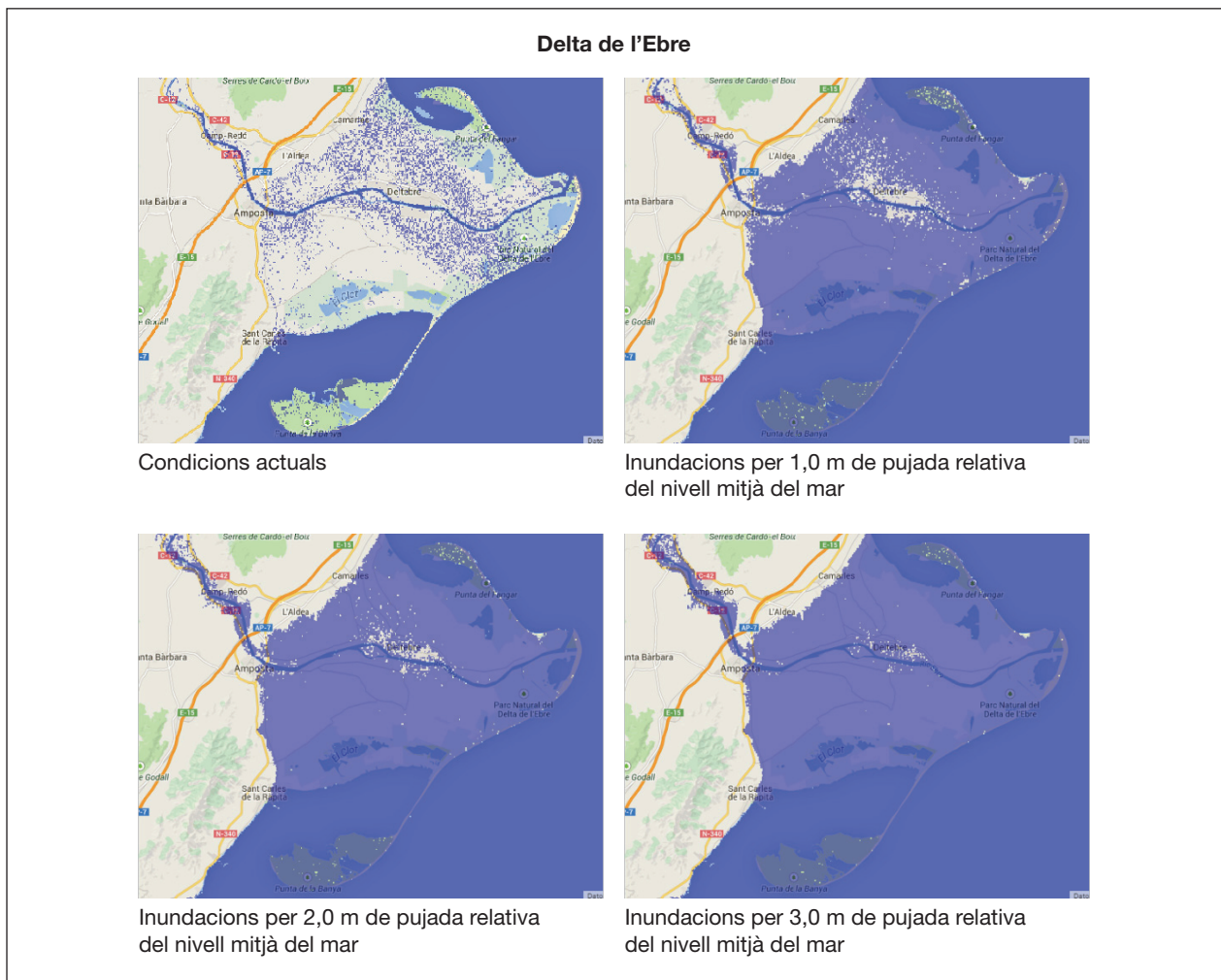


FIGURA 8.1. Efecte de l'increment relatiu del mar en el delta de l'Ebre. El delta actual figura al costat superior esquerre. Les inundacions causades per 1,0, 2,0 i 3,0 m d'increment relatiu figuren a continuació, calculades tenint en compte que el delta no respon al canvi relatiu dels nivells terra-mar i que, per tant, es pot aplicar un model del tipus «banyera» (*bathtub* o inundació simple), que implica que no hi ha cap reacció del perfil de platja. El nivell relatiu correspon a un increment del mar de fins a 2,0 m i a una subsidència de fins a 1,0 m. Això permet una anàlisi de sensibilitat, sense associar aquests nivells a un horitzó temporal determinat. La topografia prové d'un model digital del terreny, obtingut a partir d'imatges de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).



FIGURA 8.2. Evolució de la línia de vora de platja de la Barceloneta, causada per la pujada del nivell del mar, considerant una platja de sorra (cas teòric) i l'existència d'infraestructures rígides (cas real).

dència central de la pujada del nivell mitjà del mar global en l'escenari RCP8.5 és de prop de 0,80 m per al final d'aquest segle respecte del passat, mentre que el valor del quantil 95 % és d'1,8 m, considerant com a variable aleatòria el nivell mitjà del mar obtingut de diferents models per a l'escenari RCP8.5.

En resum, qualsevol aplicació a la zona costanera requerirà considerar, simultàniament: a) la variabilitat, b) la incertesa i c) el diferent domini, segons que el concepte de zona costanera sigui geomorfològic, ecològic o econòmic.

8.2.4.2. Risc a les platges

L'efecte del canvi climàtic sobre l'erosió a mitjà termini ha estat analitzat a partir de l'estudi del transport longitudinal de sediments induït per l'onatge. Casas-Prat *et al.* (2012), a partir de les tendències observades en els règims d'onatge (obtinguts dins el projecte europeu HIPOCAS, Hindcast of dynamic process of the ocean and coastal areas of Europe, com a projecció retrospectiva del període 2001-1958), determinen el clima d'onatge per a l'any 2050 sobre diferents punts de la costa i el transport longitudinal induït per aquest. Els autors conclouen que, per a l'any 2050, el comportament

general del transport longitudinal del sediment al llarg de la costa de Catalunya serà similar a l'observat fins ara, si bé de magnitud inferior a causa d'una disminució de la freqüència d'aparició d'onatges dels sectors N i NE i d'un augment dels elements S, SE i SO. Localment, els mateixos autors detecten, per a l'any 2050, un canvi del sentit net de transport en alguns trams de la costa. Al sud de Catalunya, les variacions respecte de la situació actual són menys pronunciades. Com a resum, la major part de les platges catalanes pateixen una erosió que, com a mitjana per a tota la costa, se situa entre els 0,60 i 0,90 m/any. La major part de l'extensió de les platges és sotmesa a erosió i una part petita experimenta acreció, principalment causada per l'efecte barrera d'estructures artificials, com ara espigons i dics de recer.

Els resultats del transport longitudinal són utilitzats pels mateixos autors per a avaluar el potencial d'erosió i d'acreció de les diferents cel·les en les quals es divideix la costa de Catalunya (figura 8.3). La projecció per a l'any 2050 mostra que el 26 % de la costa manté la mateixa condició d'acumulació o acreció, mentre que el 31 % experimentarà una millora (s'hi produirà més acreció). Del percentatge de més del 70 % de les platges on es produirà un canvi respecte de les condicions inicials, el 42 % empitjorarà (patirà més erosió) i el 58 % experimentarà una millora.

Els efectes del canvi climàtic sobre l'erosió causada pels temporals (escala episòdica) han estat analitzats per Bosom (2014), considerant la vulnerabilitat de la costa com a element de defensa a mitjà i a llarg termini. A mitjà termini, es considera que les característiques de la platja són dominades per la dinàmica litoral (transport longitudinal de sediments), mentre que a llarg termini aquestes característiques les representa la contribució combinada de la subsidència de la costa i l'increment del nivell mitjà del mar. Als càlculs es considera la probabilitat de l'erosió, condicionada pels temporals d'un escenari climàtic.

Considerant la contribució del transport longitudinal, l'any 2060 les platges de Catalunya tindran uns 140 km de costa molt vulnerables als efectes dels temporals, en comparació dels 61 km actuals (Bosom, 2014). El Montsià, el Baix Ebre, el Tarragonès i el Baix Penedès són les comarques amb

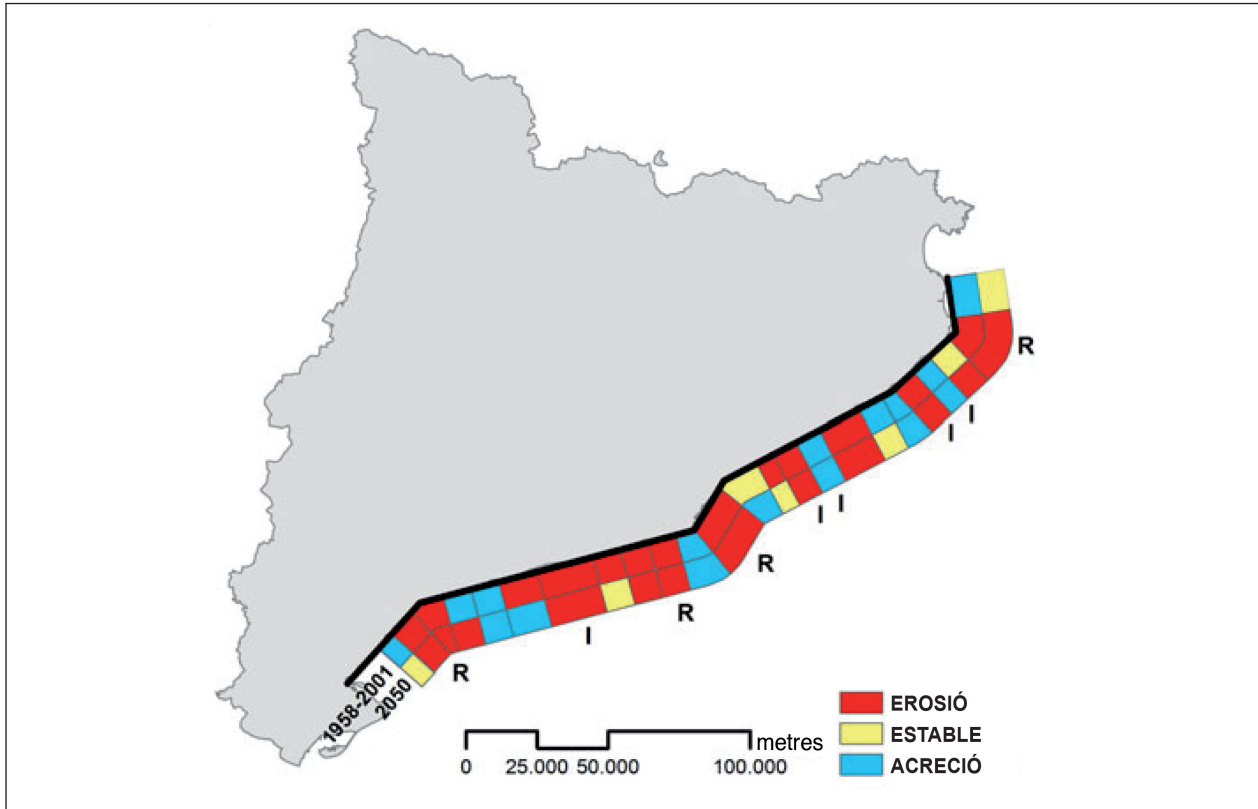


FIGURA 8.3. Comportament de la costa a mitjà termini present (període 1958-2001) i en un escenari de canvi climàtic, l'any 2050 (I (intensificació): designa trams costaners on l'efecte del canvi climàtic intensifica l'erosió. R (reducció): correspon a trams de costa on l'efecte del canvi climàtic produeix una reducció de l'erosió).

Font: Casas-Prat *et al.*, 2012.

un augment més significatiu (l'augment màxim es presenta al Montsià, amb 65 km de costa respecte dels 3 km actuals). Tenint en compte l'efecte de l'increment relatiu del nivell mitjà del mar, aquest treball determina que, en el cas d'un increment de 5,9 mm/any i d'una subsidència d'1,5 mm/any i de fins a 3 mm/any per al delta de l'Ebre (CADS, 2008; Ibáñez *et al.*, 2010; Jiménez *et al.*, 1997), el 49 % de la costa de Catalunya esdevindrà vulnerable o molt vulnerable a l'erosió provocada per l'acció dels temporals. De manera combinada, tenint en compte l'evolució de la costa causada tant pel transport longitudinal com per l'increment relatiu del nivell mitjà del mar, Catalunya tindria uns 164 km de costa (sobre un total de 218 km analitzats) amb una vulnerabilitat alta o molt alta a l'erosió. Destaca la comarca de l'Alt Empordà, amb el 100 % de la costa afectada.

Els efectes del canvi climàtic sobre la inundació marina a l'escala regional han estat estudiats recentment per Bosom (2014), Sánchez-Arcilla *et al.* (2014) i Sierra *et al.* (2014). Si bé les metodologies

utilitzades són diferents, tots els resultats mostren un augment significatiu dels episodis d'inundació i una extensió més gran de costa afectada. Així, Bosom (2014) calcula que l'any 2060 el 67 % de la costa serà vulnerable o molt vulnerable a la inundació associada a un període de retorn de cinquanta anys, principalment les comarques del Montsià, el Baix Ebre, el Maresme i l'Alt Empordà. Sánchez-Arcilla *et al.* (2014) determinen que, fins i tot mantenint la configuració actual de la costa, amb la pujada del mar (d'acord amb l'escenari A1F1 de l'IPCC, 2007) l'any 2100 el 21 % de les platges de Catalunya requeriran mesures d'actuació addicionals. Sierra *et al.* (2014) analitzen l'impacte d'una variació del $\pm 20\%$ en l'altura d'ona del temporal acompanyada per una variació del $\pm 10\%$ en el període, i conclouen que aquests canvis poden representar una variació del $\pm 20\%$ en l'extensió susceptible de ser inundada.

Més recentment, Gracia *et al.* (2015) han abordat l'estudi de la inundació des d'un punt de vista probabilístic, tenint en compte la incertesa associada

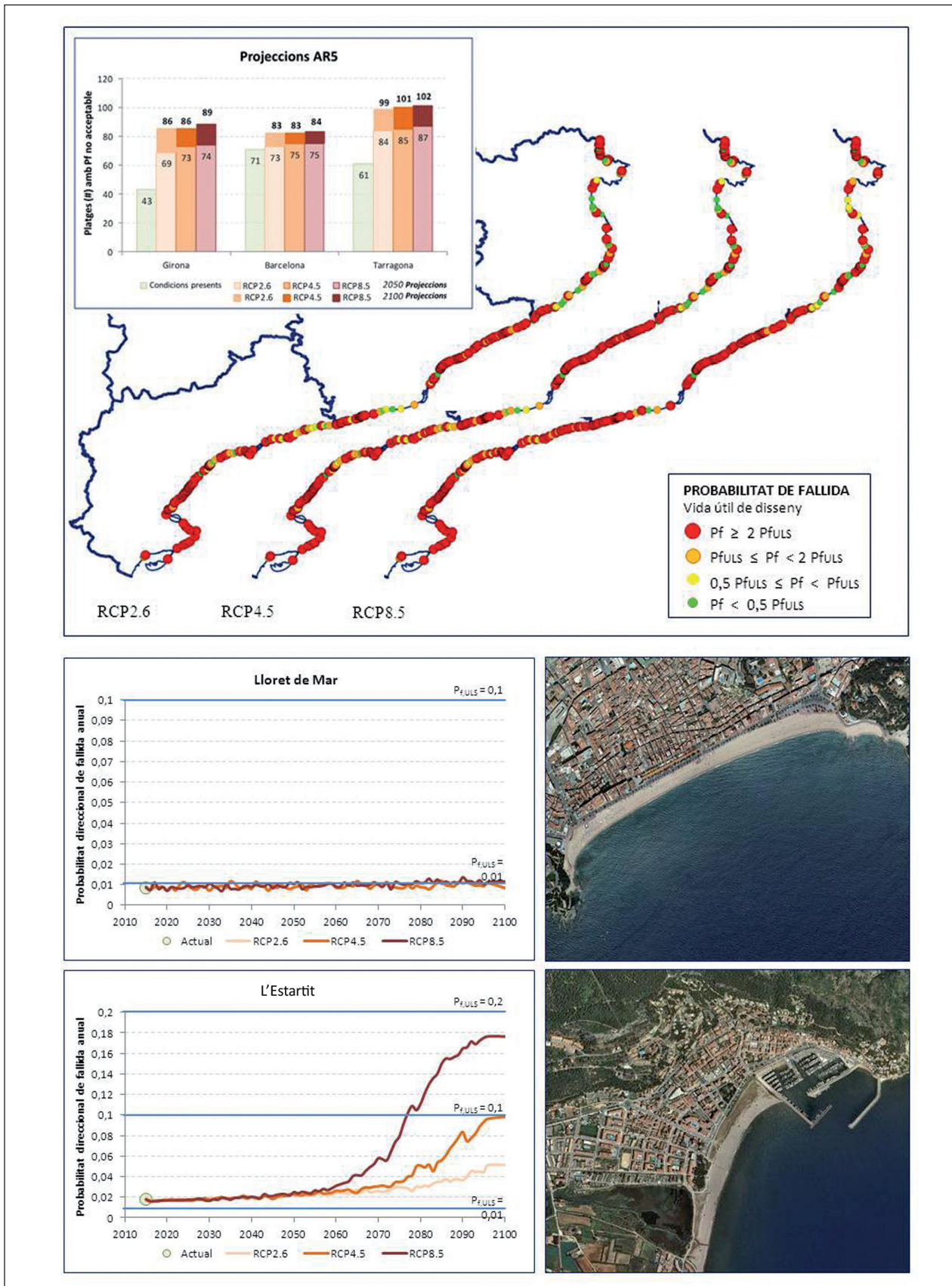


FIGURA 8.4. a) Probabilitat de fallida (Pf) de platges (comparada amb la Pf de l'estat límit últim o ULS) al llarg del litoral català per als escenaris RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5 projectats fins a l'any 2100, i nombre de platges per nivell de Pf per a les tres províncies costaneres a Catalunya. Pf (diagrama de barres). b) Variació temporal de la probabilitat d'inundació de la platja de Lloret de Mar (superior) i de l'Estartit (inferior) per a diferents escenaris de canvi climàtic.

a les variables involucrades (la morfologia, el nivell del mar i les característiques del temporal). Això els ha permès determinar la probabilitat d'inundació de les diverses platges de sorra de Catalunya per als diversos escenaris d'increment del nivell del mar global de l'IPCC (2013). La metodologia proposada ha estat validada a partir d'un registre històric d'inundacions de la costa. Els autors tenen en compte un clima d'onatge semblant al present i el manteniment de les característiques morfològiques actuals. Els resultats (figura 8.4.a) mostren que, en qualsevol dels nous escenaris (RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5), el nombre de platges que no compleixen amb la funció de protecció augmenta a les tres províncies. Així, en el cas més desfavorable (RCP8.5), la província de Girona passa de tenir 43 platges que actualment s'inunden de manera episòdica a tenir-ne 74, l'any 2050, i 89, l'any 2100. Tarragona passaria a tenir-ne 87, l'any 2050, i 102, l'any 2100, en les quals es produirien inundacions inacceptables en moments de temporal, en comparació amb les 61 platges on actualment aquest procés ja s'esdevé. La metodologia proposada pels autors permet definir estratègies de gestió a llarg termini, ja que identifica el període en el qual

la costa començarà a patir inundacions inacceptables des del punt de vista de la gestió (figura 8.4.b).

La inundació també pot ser entesa com un element purament hidrostàtic. La figura 8.5 evidencia que, per a la costa mediterrània espanyola, i en particular per a les costes valenciana i catalana, la major part de la pèrdua de domini costaner emergit en kilòmetres quadrats es produeix pel primer metre de pujada del nivell mitjà del mar. L'anàlisi mostra que, per a pujades relatives de 2 m o fins i tot de 3 m, l'extensió addicional de territori perdut és molt més reduïda. S'ha de considerar que la vulnerabilitat depèn del nivell relatiu terra-mar; així, els 3 m que es mostren a la figura resulten d'una pujada del nivell de mar de fins a 2 m i d'un enfonsament o subsidència del substrat costaner de fins a 1 m.

El risc resultant de l'erosió i la inundació de platges és degut, per tant, a la probabilitat o perillositat que es produeixi el fenomen multiplicat per les conseqüències, incloent-hi l'exposició de persones, infraestructures i béns i serveis en general. El resultat és una afectació de les funcions prin-

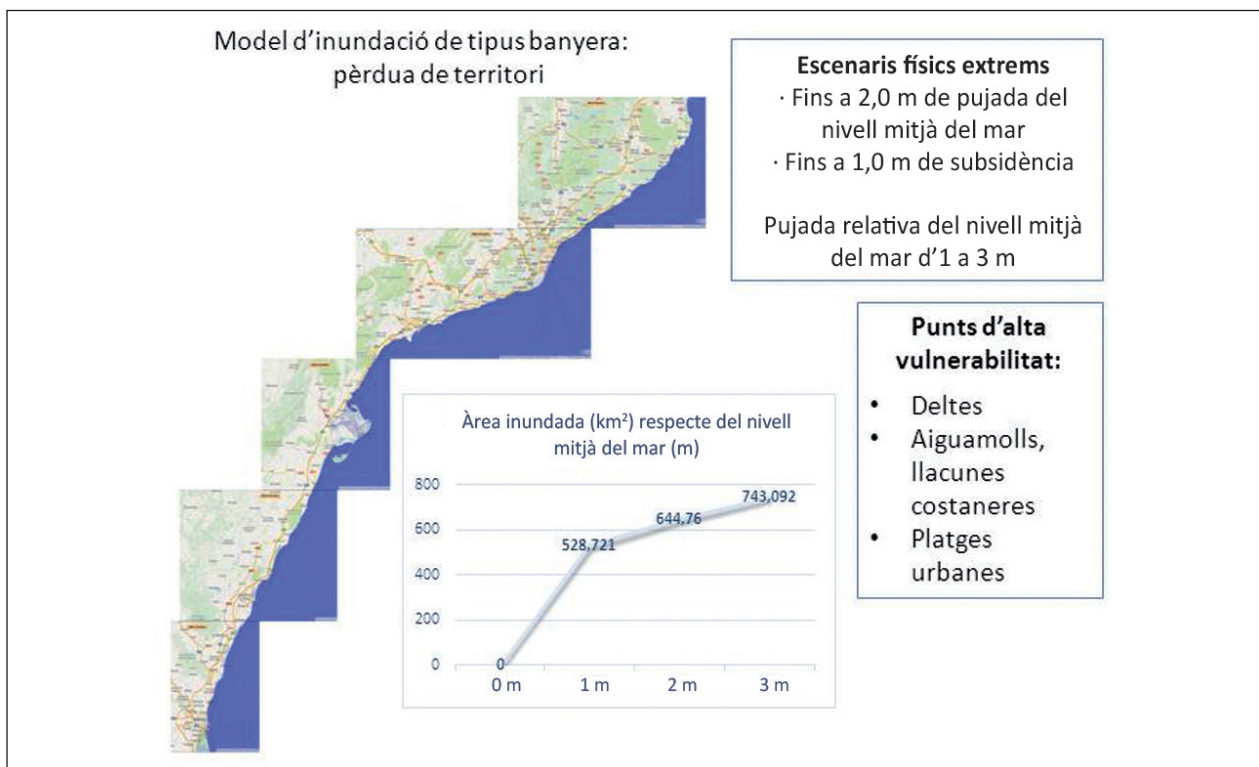


FIGURA 8.5. Efecte de la pujada del nivell mitjà del mar per a la costa de Catalunya i de la Comunitat Valenciana (kilòmetres quadrats que quedarien inundats en cas d'una pujada relativa del nivell del mar d'1 m, 2 m i 3 m) a partir del treball del grup, fent servir els mateixos nivells relatius terra-mar de figures anteriors i un model digital d'elevació del terreny.

cipals de la platja, que es poden resumir en: a) funció de protecció, b) funció de suport turístic i c) funció de suport ecològic. A causa de la dificultat d'arribar a una valoració econòmica que inclogués totes tres funcions, en aquest apartat no s'ha fet cap estimació. Malgrat això, qualsevol valoració econòmica hauria d'anar associada a l'escala temporal per a la qual s'han calculat les pèrdues de valor en qualsevol d'aquestes funcions.

8.2.4.3. Risc als ports

Utilitzant mètodes empírics, Sierra *et al.* (2015a) han analitzat l'impacte de la pujada del nivell del mar sobre l'ultrapassament en 43 dels 47 ports marítics existents a la costa catalana. Considerant la manca d'estudis sobre com resultaran afectats els ports pel canvi climàtic al nostre país, s'ha fet un plantejament en termes de sensibilitat, en funció dels diferents escenaris projectats per a la costa catalana, perquè siguin raonables des del punt de vista de les projeccions físiques existents per a les nostres latituds. L'anàlisi s'ha portat a terme tenint en compte les condicions actuals (escenari 0), una pujada del nivell del mar corresponent a la banda central de l'escenari RCP4.5, una altra amb el valor superior de l'escenari RCP8.5 i, finalment, una que representa un escenari extrem (*high-end scenario*) molt superior a les previsions de l'AR5. Es considera un escenari extrem perquè hi ha estudis que suggereixen pujades fins a 1,86 m (Mori *et al.*, 2013, entre d'altres). Jevrejeva *et al.* (2014) indiquen que una pujada tan extrema del nivell del mar és físicament possible; aquesta probabilitat és molt baixa, de prop del 5 %, però no és negligible. Les pujades considerades per a cadascun dels escenaris tinguts en compte en l'estudi de Sierra *et al.* (2015a) són: a) escenari 0: condicions ac-

tuals; b) escenari 1: RCP4.5 (escenari 0 + 0,47 m); c) escenari 2: RCP8.5 (escenari 0 + 0,88 m), i d) escenari 3: escenari extrem (escenari 0 + 1,80 m).

En l'estudi es va assumir que l'onatge no variaria en el futur, i es van definir els valors tolerables d'ultrapassament per a cada port. Els cabals d'ultrapassament es van calcular per a diferents períodes de retorn: un any, per a tempestes relativament freqüents; cinc anys, per a tempestes relativament intenses, i cinquanta anys, per a tempestes excepcionals. En funció del percentatge d'excedència del valor tolerable, que és indicatiu del nivell de danys que cal esperar, es van definir cinc nivells de vulnerabilitat: molt baixa, baixa, mitjana, alta i molt alta. Els resultats obtinguts es resumeixen a la taula 8.1, mentre que la figura 8.6 mostra els mapes de vulnerabilitat (definida d'acord amb les conseqüències econòmiques de l'impacte) corresponents a un període de retorn de cinc anys. S'hi pot veure que una pujada moderada del nivell del mar ja afecta significativament la vulnerabilitat (en nivell i en nombre de ports afectats), i que una pujada elevada similar al de l'escenari extrem incrementaria el nivell de risc a l'ultrapassament a molts dels ports de la costa catalana.

Resumint, en els escenaris més probables de pujada del nivell del mar (escenaris 1 i 2, basats en projeccions de l'AR5) els cabals d'ultrapassament augmentarien significativament en molts ports catalans, i el nombre de ports vulnerables creixeria en algunes unitats, particularment per tempestes de mitjana o gran intensitat. Això afectaria l'operativitat portuària i podria comportar problemes seriosos de gestió. En el cas del poc probable escenari 3, la situació empitjoraria significativament. Una altra conclusió de l'estudi esmentat és que la major part dels

TAULA 8.1. Nombre de ports catalans amb algun grau de vulnerabilitat a l'ultrapassament (total) i amb un nivell alt o molt alt de vulnerabilitat (AV) davant de tempestes amb períodes de retorn d'un any, cinc anys i cinquanta anys

Període de retorn	ESCENARI 0		ESCENARI 1		ESCENARI 2		ESCENARI 3	
	AV	Total	AV	Total	AV	Total	AV	Total
Un any	1	3	2	4	2	4	5	8
Cinc anys	1	5	2	8	3	9	6	11
Cinquanta anys	6	10	9	11	10	13	13	20

Nota: els resultats corresponen a un nivell mitjà del mar present (escenari 0), RCP4.5 (escenari 1), RCP8.5 (escenari 2) i extrem d'1,80 m (escenari 3). L'onatge és, en tots els casos, el corresponent a les condicions presents.

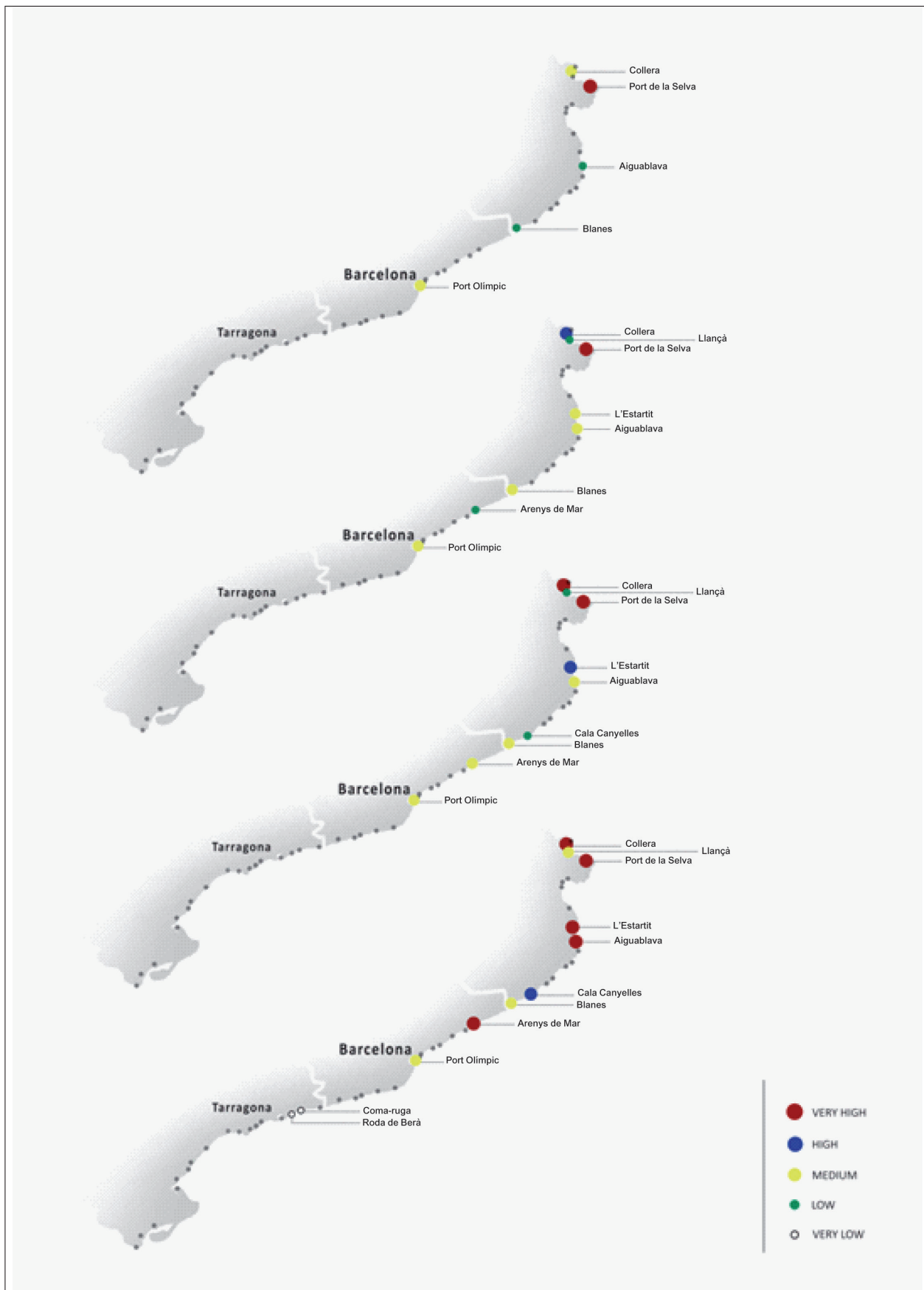


FIGURA 8.6. Mapa d'impacte de l'ultrapassament dels ports catalans per a un període de retorn de cinc anys i per a les condicions següents: a) clima present, b) RCP4.5, c) RCP8.5 i d) escenari extrem (1,80 m de pujada del nivell mitjà del mar).

ports amb problemes potencials d'ultrapassament es localitzen en la meitat nord de la costa catalana.

D'altra banda, Sierra *et al.* (2015b) han aplicat recentment un model numèric de tipus Boussinesq a tretze ports de la costa catalana. El model utilitza projeccions d'onatge obtingudes per Casas-Prat *et al.* (2013) amb el model SWAN per a cinc combinacions de models de circulació atmosfèrica general (GCM) i regional (RCM), basats en l'escenari A1B de l'AR4 (IPCC, 2007). La figura 8.7 mostra els resultats per a un dels ports (Cases d'Alcanar) situat al sud de la costa catalana: es pot apreciar un cert increment

de l'agitació per a quatre dels cinc models emprats, mentre que per al cinquè les variacions són molt petites i en ambdós sentits (increments i disminucions de l'altura d'ona a dins del port).

En el seu estudi, Sierra *et al.* (2015b) han trobat que l'agitació mitjana anual disminueix en els ports situats al sector central de la costa catalana (entre un 0,3 % i un 12,9 %), mentre que en els ports situats més al nord i més al sud l'agitació mitjana anual s'incrementa (entre un 0,6 % i un 9,6 %). L'anàlisi estacional mostra una disminució generalitzada de l'agitació a l'hivern (entre un 3,3 % i un 20,1 %) i un

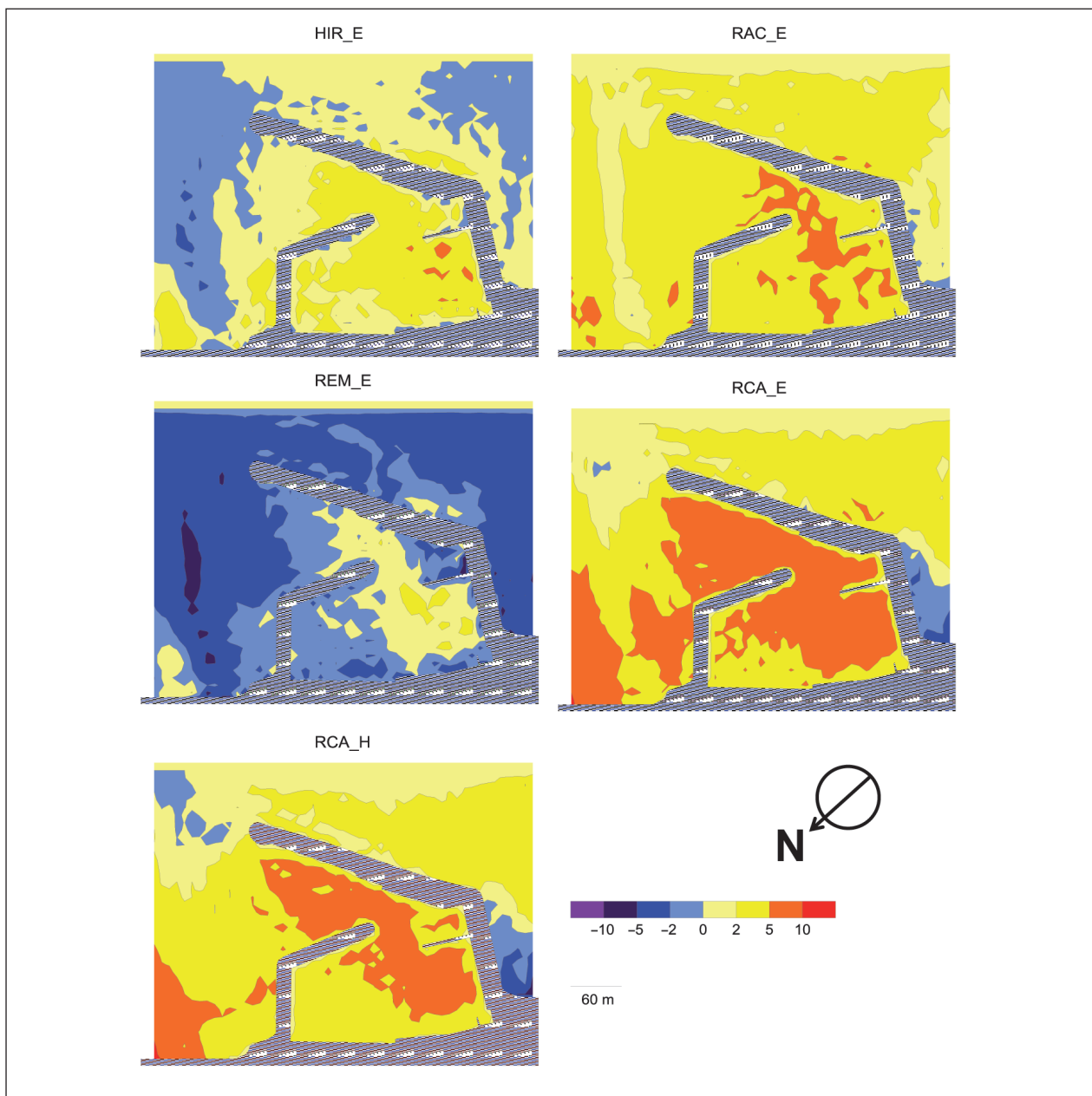


FIGURA 8.7. Diferències (en percentatge) entre l'altura d'ona significant futura (2071-2100) i present (1971-2000) al port de Cases d'Alcanar per als cinc models climàtics emprats. Totes les simulacions corresponen a l'escenari A1B de l'AR4.

increment generalitzat a l'estiu (entre un 1,1 % i un 13,1 %). Cal tenir en compte que els valors esmentats són valors mitjans i, consegüentment, hi ha zones en les quals la variació és significativament més gran. Aquest comportament implicarà una disminució de l'agitació a l'hivern i un augment a l'estiu, que, per tant, en termes absoluts, serà petit. Les implicacions per als ports són, en general, positives pel que fa a l'agitació interna, malgrat que pot donar lloc a futurs problemes d'operativitat i de gestió en alguns ports, sobretot als esportius, per als quals l'estiu és l'estació amb una taxa d'ocupació més alta (97 %).

A la figura 8.8 es mostra la variació mitjana (mitjana dels cinc models) de l'altura d'ona significant per als dos ports més importants de Catalunya: el de Barcelona i el de Tarragona. Les variacions s'indiquen segons el percentatge de variació en el futur (període 2071-2100) respecte al present (període 1971-2000). Es pot apreciar que al port de Tarragona l'agitació disminuiria, en el futur, a pràcticament tot el domini, tret d'una zona en la qual es registren increments molt lleugers. En el cas de Barcelona, si bé predomina la reducció de

l'altura d'ona significant a bona part del domini, hi ha àrees extenses (per exemple, tot el Port Vell) en les quals es registren increments de l'agitació, i hi ha una dàrsena en la qual tenen lloc augments que superen el 10 % i que, per tant, poden plantejar problemes d'operativitat, malgrat la tendència general de reducció a l'hivern.

8.3. Conclusions

Aquest estudi del canvi climàtic al litoral català ha tractat de determinar els impactes de les variacions de l'onatge i del nivell del mar sobre platges sorrenques i ports. Respecte als patrons d'onatge, en l'escenari A1B de l'AR4 s'observaria una reducció de la mediana de l'altura d'ona en la major part del domini català, tot i que a prop del golf de Gènova es detecta un augment. A més, durant l'estiu els valors de la mediana de l'altura d'ona augmenten al sud del domini. El clima d'onatge d'un any típic presenta variacions del $\pm 10\%$ sobre els valors de la mediana, mentre que en condicions de temporal s'observen canvis en un rang més alt, entre el $\pm 20\%$.

L'impacte del canvi climàtic a les platges s'ha avaluat en termes d'erosió i inundació marina. L'erosió

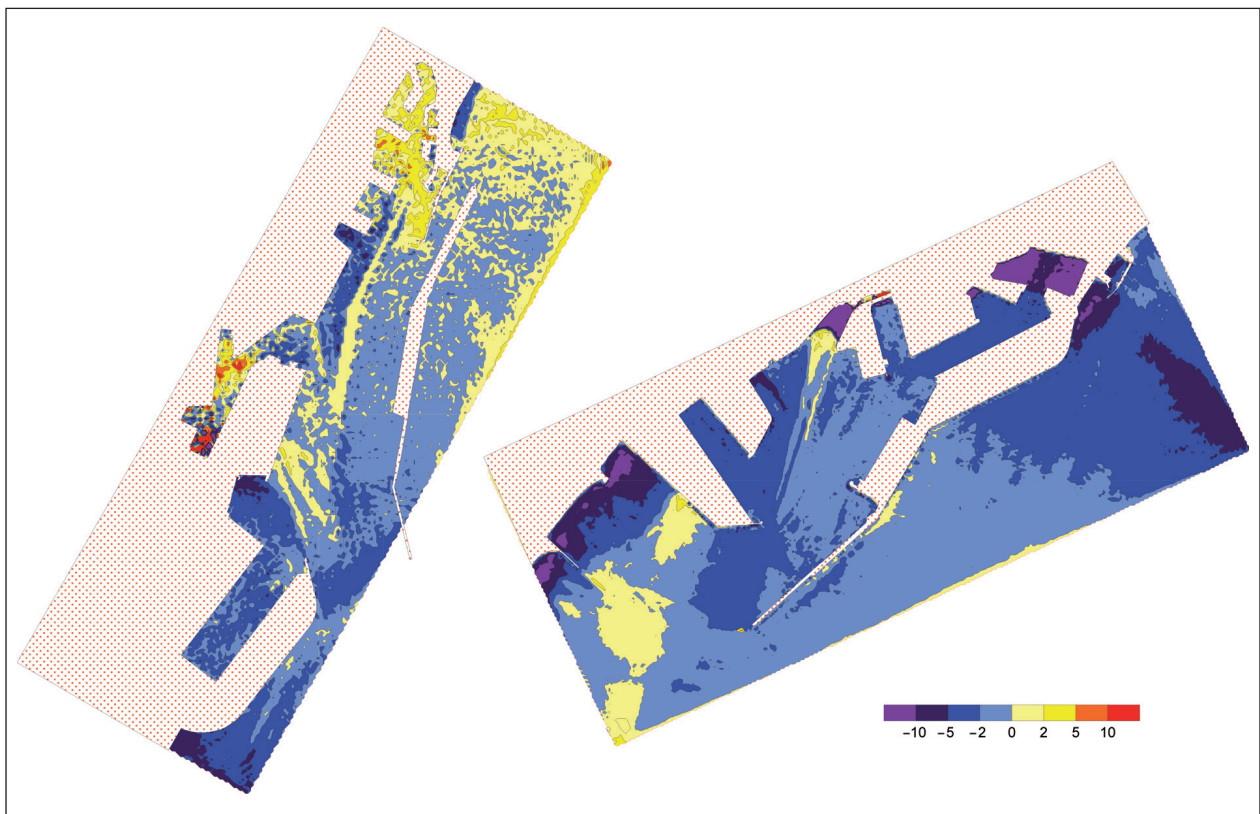


FIGURA 8.8. Diferències (en percentatge) entre l'altura d'ona significant futura (2071-2100) i present (1971-2000) als ports de Barcelona (esquerra) i Tarragona (dreta), fent la mitjana dels cinc models.

induïda per condicions d'onatge mitjanes a causa del transport longitudinal de sediment s'ha obtingut a partir de la projecció de les tendències observades en les sèries d'onatge presents. El motiu és doble: d'una banda, la incertesa en la determinació de la variabilitat (extrems) a partir de dades projectades, i de l'altra, la tendència a la disminució de l'energia de l'onatge, la qual cosa comportaria uns impactes més reduïts. Els patrons obtinguts per a l'any 2050 són similars als actuals. Al sud del domini les variacions són menys pronunciades. El resum és que el 26 % de la costa manté el mateix comportament, mentre que el 31 % experimentarà una millora de les condicions. Del percentatge de més del 70 % de les platges on es produirà un canvi respecte de les condicions inicials, en el 42 % els canvis són cap a pitjor, i en el 58 %, cap a millor.

La combinació del transport longitudinal i la modificació dels nivells relatius terra-mar comportaran un augment, tal com s'ha plantejat en els apartats anteriors, dels trams de platja amb vulnerabilitat alta o molt alta, amb especial menció del tram nord de la costa catalana. Igualment, els episodis d'inundació augmentaran tant en intensitat com en percentatge de costa afectada. Fins i tot mantenint la configuració costanera actual, serà necessari plantejar mesures d'actuació addicionals per a un percentatge important de platges que, d'altra manera, no compliran les funcions de protecció i d'ús turístic.

L'impacte als ports de Catalunya s'ha avaluat en termes d'ultrapassament, tenint en compte el clima d'onatge actual i diferents escenaris d'increment del nivell del mar (AR5), i també en termes d'agitació (escenari A1B de l'AR4). Respecte al primer, s'observa un augment significatiu dels cabals d'ultrapassament, i un augment, també, del nombre de ports vulnerables, en els quals l'operativitat pot quedar afectada. Aquest augment és més gran a la meitat nord de la costa. L'agitació mitjana anual disminuirà en els ports situats al sector central de la costa catalana (entre un 0,3 % i un 12,9 %), mentre que en els ports situats més al nord i més al sud l'agitació mitjana anual s'incrementarà (entre un 0,6 % i un 9,6 %). En el període d'hivern, l'agitació disminuiria entre un 3,3 % i un 20,1 %, mentre que a l'estiu, quan l'ocupació és més gran, augmentaria entre un 1,1 % i un 13,1 %.

Adicionalment, s'han de considerar altres factors climàtics que poden afectar les perillositats i vulnerabilitats del sistema costaner. Des del punt de vista físic, els principals serien l'augment de la temperatura i la minva de les disponibilitats d'aigua dolça, que, juntament amb les de sorra, implicarien un estrès addicional sobre la vora costanera. Des del punt de vista socioeconòmic, el principal factor seria l'augment de població projectat per a la zona costanera catalana, la qual cosa tindria implicacions tant per a ports com per a platges.

8.4. Recomanacions

L'adaptació de la costa al canvi climàtic ha de comportar una seqüència ordenada d'actuacions (tant de protecció com de retrocés o d'adaptació genuïna), de tal manera que el resultat per a un horitzó donat maximitzi la sostenibilitat de la zona costanera. Aquesta seqüència d'actuacions i l'organització temporal que se segueixi depèn, essencialment, del tipus de sistema costaner, que és radicalment diferent per a platges baixes de sorra o per a estructures portuàries.

La planificació de la zona costanera, per a adaptar-la al canvi de clima, s'ha de basar no solament en les «pressions» dels factors climàtics, sinó també en la resposta de la costa mateixa. Com a il·lustració, la figura 8.4.b mostra l'evolució de la probabilitat de fallida de dues platges catalanes en el segle XXI. S'ha definit *probabilitat de fallida* com la probabilitat que, en un nombre suficient de simulacions en escenaris climàtics futurs la platja emergida desaparegui (és a dir, que l'amplada disminueixi per sota d'un llinard), de tal manera que no quedi platja per a l'ús turístic ni un cordó de sorra protector per a defensar les infraestructures de l'interior de les tempestes de l'hivern. Com mostra la figura, per a platges encaixades i, per tant, amb un volum de sediment raonablement constant, la probabilitat de fallida en les condicions actuals i en els tres escenaris RCP principals (2.6, 4.5 i 8.5) són semblants, i no mostren cap evolució significativa en el temps. Per contra, per a una platja més lliure com la de l'Estartit, la probabilitat de fallida mostra un increment en el temps, més notable per a escenaris més adversos, com l'RCP8.5, per al qual la pujada del nivell mitjà del mar és més acusada.

La política d'adaptació ha de considerar l'horitzó temporal per al qual aquestes projeccions indiquen un augment important de la probabilitat de fallida. En el cas de l'escenari RCP8.5, aquest interval de temps seria al voltant del 2060, la qual cosa implicaria començar les actuacions uns quants anys abans, atès que qualsevol intervenció costanera (ja sigui amb estructures rígides com amb aportacions de sorra, planificació alternativa del territori o bé una combinació de totes tres) requereix un interval de temps d'anys per a permetre una execució eficient d'aquestes actuacions.

Per tant, en funció de l'escenari climàtic considerat i dels principals components de la vulnerabilitat costanera, es pot arribar a un càlcul de la probabilitat de fallida i de les conseqüències (per a tant risc). Això permetrà d'optimitzar, en termes de cost i impacte, les actuacions costaneres davant de l'efecte de climes futurs. Per a augmentar la fiabilitat del procés, serà convenient l'establiment d'un pla d'observació de la costa a llarg termini que compregui tant els agents impulsors o «pressions» (condicions meteorològiques a mar obert, onatge i nivell mitjà del mar) com la resposta de la costa i el comportament de les seves estructures. Pel que fa a l'escala episòdica, amb conseqüències econòmiques importants a curt termini, també seria recomanable l'establiment de sistemes d'alerta primerenca, per tal de mantenir uns nivells de risc acceptables en condicions de clima present i futur (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2014; García-León *et al.*, 2015; Gracia *et al.*, 2015).

Referències bibliogràfiques

- BOSOM, E. (2014). *Coastal vulnerability to storms at different time scales: Catalan coast*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- CADS = CONSELL ASSESSOR PER AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE (2008). *RISKCAT: Els riscos naturals a Catalunya: Informe executiu*. Barcelona: CADS.
- CASAS-PRAT, M.; MCINNIS, K. L.; HEMER, M. A. [et al.] (2015, en revisió). «Inter-model variability in regional climate change projections of wave-driven coastal sediment transport». *Regional Environmental Change*.
- CASAS-PRAT, M.; SIERRA, J. P. (2010). «Trend analysis of wave storminess: Wave direction and impact on harbour agitation». *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 10, p. 2327-2340.
- (2012). «Trend analysis of wave direction and associated impacts on the Catalan coast». *Climatic Change*, 115, p. 667-691.
- (2013). «Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea». *Journal of Geophysical Research Oceans*, 118, p. 3548-3568.
- CIIRC = CENTRE INTERNACIONAL D'INVESTIGACIÓ DELS RECURSOS COSTANERS (2010). *Estat de la zona costanera a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- GARCÍA-LEÓN, M.; GRACIA, V.; ROBICHAUX, L. [et al.] (2015). «Evaluation of transient defence measures against storms». *Proceedings of the coastal sediments*, ASCE (EUA).
- GOMIS, D.; MARCOS, M.; JORDA, G. [et al.] (2015) «Sea-level change in semi-enclosed basins. The case of the Mediterranean Sea». *European Climate Research Alliance: «New knowledge for risk reduction»*, Brussel·les (Bèlgica).
- GRACIA, V.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GARCÍA-LEÓN, M. [et al.] (2014). «A new generation of early warning systems for coastal risk. The iCoast Project». *Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering*, Seül (Corea del Sud).
- IBÁÑEZ, C.; SHARPE, P. J.; DAY, J. W. [et al.] (2010). «Vertical accretion and relative sea level rise in the Ebro delta wetlands (Catalonia, Spain)». *Wetlands*, 30, p. 979-988.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de S. Solomon, D. Qin, M. Manning [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1>> [Consulta: 20 febrer 2016].
- (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel*

- on *Climate Change (AR5)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>> [Consulta: 20 febrer 2016].
- JEVREJEVA, S.; GRINSTED, A.; MOORE, J. C. (2014). «Upper limit for sea level projections by 2100». *Environmental Research Letters*, 9. DOI: 10.1088/1748-9326/9/10/104008.
- JIMÉNEZ, J. A.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; VALDEMORO, H. I. [et al.] (1997). «Processes reshaping the Ebro delta». *Marine Geology*, 144(97), p. 59-79.
- JORDÀ, G.; GOMIS, D.; ÁLVAREZ-FANJUL, E. [et al.] (2012). «Atmospheric contribution to Mediterranean and nearby Atlantic sea level variability under different climate change scenarios». *Global and Planetary Change*, 80-81, p. 198-214.
- LIONELLO, P.; COGO, S.; GALATI, A. [et al.] (2008). «The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations». *Global and Planetary Change*, 63, p. 152-162.
- MORI, N.; SHIMURA, T.; YASUDA, T. [et al.] (2013). «Multi-model climate projections of ocean surface variables under different climate scenarios—future change of waves, sea level and wind». *Ocean Engineering*, 71, p. 122-129.
- PORTS DE LA GENERALITAT (2015). *Memòria econòmica 2014*.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; GÓMEZ, M.; GRACIA, V. [et al.] (2014). «Reliability analysis of beaches under a climate change scenario». *Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering*, Seül (Corea del Sud).
- SCHWARTZ, M. L.; FISHER, J. J. (ed.) (1980). *Proceedings of the Per Bruun Symposium*. Rhode Island: Rhode Island University.
- SIERRA, J. P.; CASANOVAS, I.; MÖSSO, C. [et al.] (2015a, en premsa). «Vulnerability of Catalan ports to overtopping produced by sea level rise». *Regional Environmental Change*.
- SIERRA, J. P.; CASAS-PRAT, M. (2014). «Analysis of potential impacts on coastal areas due to changes in wave conditions». *Climatic Change*, 124, p. 861-876.
- SIERRA, J. P.; CASAS-PRAT, M.; VIRGILI, M. [et al.] (2015b). «Impacts on wave-driven harbour agitation due to climate change in Catalan ports». *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, p. 1695-1709.
- SLANGEN, A. B. A.; CARSON, M.; KATSMAN, C. A. [et al.] (2014). «Projecting twenty-first century regional sea-level changes». *Climatic Change*, 124(1-2), p. 317-332.
- STIVE, M. J. F.; AARNINKHOF, S.; HAMM, G. J. [et al.] (2002). «Variability of shore and shoreline evolution». *Coastal Engineering*, 47(2), p. 211-235.
- USACE = US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2006). *Coastal engineering manual*. Washington DC: USACE.
- WANG, X.; SWAIL, V.; ZWIERS, F. [et al.] (2009). «Detection of external influence on trends of atmospheric storminess and northern oceans wave heights». *Climate Dynamics*, 32, p. 189-203.

9 Ecosistemes terrestres

Autors

Josep Peñuelas	Olga Margalef	Dominik Sperlich	Chris Wheat
Jordi Sardans	Sergi Pla	Gerard Farré-Armengol	Daniel Nadal
Iolanda Filella	Constantí Stefanescu	Marcos Fernández-Martínez	Santi Sabaté
Marc Estiarte	Dolores Asensio	Daijun Liu	Carles Gracia
Joan Llusà	Catherine Preece	Chao Zhang	Maria Vives
Romà Ogaya	Lei Liu	Ifigenia Urbina	Melodia Tamayo
Jofre Carnicer	Alexandre Verger	Marta Camino	Jaume Terradas
Mireia Bartrons	Laura Rico	Andreu Ubach	
Albert Rivas-Ubach	Adrià Barbeta	Megan Popkin	
Oriol Grau	Ander Achotegui-Castells	Jennifer Albrand	
Guille Peguero	Albert Gargallo-Garriga		

L'equip de redactors d'aquest capítol està format per estudiants de doctorat i professors d'investigació, i la majoria d'ells estan vinculats a la Unitat d'Ecologia Global, CREAM-CSIC-UAB-UB. Aquesta unitat és un grup de recerca consolidat per la Generalitat de Catalunya que se centra a estudiar els efectes dels canvis ambientals globals i locals en els ecosistemes terrestres produïts per l'activitat humana.

Agraïments

Agraïm el finançament de gran part de la recerca aquí esmentada per la European Research Council Synergy Grant ERC-SyG-2013-610028, IMBALANCE-P, el projecte espanyol CGL2013-48074-P i el projecte català SGR 2014-274.

Sumari

Síntesi	213
9.1. Introducció	215
9.2. Respostes a escala molecular i en l'ús dels elements. Genètica, epigenètica, metabolòmica i estequiometria	215
9.3. Respostes dels organismes.....	216
9.3.1. Canvis morfològics, fisiològics, fenològics i de creixement en plantes .	216
9.3.2. Canvis morfològics, fisiològics, fenològics i de creixement en animals.	219
9.4. Canvis en poblacions i comunitats.....	219
9.4.1. Canvis en les emissions de fragàncies de fulles i flors de plantes amb efectes sobre les comunitats.....	220
9.4.2. Efectes sobre la rizodeposició, els microorganismes del sòl, la fil·losfera i l'herbivoria.....	221
9.4.3. Comunitats pertorbades i joves, les més sensibles	222
9.5. Ecosistemes, biogeoquímica i funcionament	223
9.5.1. Resposta dels alzinars a les sequeres a llarg termini	223
9.5.2. Alteracions en l'ús dels nutrients	224
9.5.3. La teledetecció de biomassa verda i com funciona	225
9.5.4. Els efectes del canvi climàtic sobre el balanç de carboni	226
9.5.5. Efectes ambientals diversos del canvi climàtic: l'exemple dels contaminants orgànics persistents	226
9.6. Què podem aprendre dels canvis climàtics del passat i dels efectes que han tingut en els boscos de Catalunya?	228
9.6.1. Desglaciació i arribada de l'Holocè	228
9.6.2. El darrer mil·lenni.....	229
9.6.3. El canvi climàtic actual	230
9.7. Impacte del canvi climàtic sobre els nostres ecosistemes terrestres previst per als pròxims decennis. Simulacions amb GOTILWA+	230
9.8. Retroalimentacions biològiques en el canvi climàtic	231
9.9. Conclusions	232
9.10. Recomanacions	232
Referències bibliogràfiques.....	234

Síntesi

El canvi climàtic produeix, i molt probablement seguirà produint, un augment de la temperatura i de la sequera al nostre país (IPCC, 2013). Si la combinació del canvi climàtic, de les pertorbacions associades (per exemple, inundacions, seques, incendis forestals, etc.) i de les modificacions en els altres components que formen part del canvi global (sobretot les variacions de l'ús del sòl, la contaminació i la sobreexplotació dels recursos) continuen com fins ara, és probable que superin la resiliència de molts ecosistemes (IPCC, 2014) i n'alterin l'estructura i el funcionament (Peñuelas *et al.*, 2013), i això comprometrà els serveis que actualment proporcionen (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En l'impacte del canvi climàtic, objecte d'aquest INFORME, influeixen les interaccions amb aquestes altres pressions i les mesures de gestió que s'adoptin.

A Catalunya, com arreu del planeta, s'han descrit nombroses evidències observacionals i experimentals del lligam que existeix entre el canvi climàtic i els processos biològics i fisicoquímics dels ecosistemes. L'augment de temperatures, les noves pautes de precipitacions i altres canvis climàtics ja afecten els nostres ecosistemes i, també, les nostres societats. Per exemple, és ben sabut que l'inici de la primavera s'ha avançat i l'arribada de l'hivern s'ha endarrerit, motiu pel qual el període vegetatiu s'ha perllongat uns tres o quatre dies de mitjana cada decenni en els darrers cinquanta anys.

S'ha comprovat, tant en estudis observacionals duts a terme durant els darrers decennis com en estudis experimentals d'escalfament i de sequera, que algunes espècies són més vulnerables a aquests canvis que d'altres, cosa que fa que se n'alteri l'habilitat competitiva i, en darrer terme, que canviï la composició de les comunitats i que hi hagi desplaçaments en la distribució de les espècies, com ara la migració d'espècies mediterrànies a cotes més elevades en les muntanyes del país o la disminució del nombre d'espècies en els nostres matollars. En els casos més extrems, les poblacions d'algunes espècies perllenen a causa de la sinèrgia entre l'estrès produït pel canvi climàtic, que converteix en inadequats els hàbitats on vivien, i

els canvis en els usos del sòl, com ara la fragmentació del territori, que en dificulta la migració cap a hàbitats amb condicions adients perquè puguin sobreviure.

Paral·lelament a aquests canvis estructurals, s'han descrit canvis funcionals dels ecosistemes a conseqüència de l'escalfament del planeta, com ara la disminució de l'absorció de CO₂ en períodes de sequera o un augment de la pèrdua de nutrients per la lixiviació després de les pluges. També s'han pogut observar altres alteracions a conseqüència del canvi climàtic, com ara assecades més freqüents dels boscos, un risc més alt d'incendi o l'increment de les emissions de compostos orgànics volàtils biogènics.

Aquests canvis afecten i afectaran els múltiples serveis ecosistèmics productius (el subministrament de béns naturals renovables com ara pastures, aliments o medicines, o de productes de consum com ara fusta, caça o bolets), ambientals (el manteniment de la biodiversitat, la regulació de la composició atmosfèrica i del clima, la conservació del sòl i de l'aigua, o l'emmagatzematge de carboni) i socials (usos recreatius, educatius i de lleure, valors tradicionals culturals, o el turisme i l'excursionisme). Un dels serveis que són prioritaris actualment pel que fa a les polítiques ambientals és el que es troba lligat al balanç del carboni, ja que el canvi climàtic i altres factors relatius al canvi global alteraran l'emmagatzematge de carboni als boscos, per bé que la magnitud i la direcció del canvi no són encara clars.

En els pròxims anys, i per a pal·liar tant els efectes del canvi climàtic com l'augment del CO₂ atmosfèric que l'origina, les polítiques de reforestació de les zones pertorbades i de gestió de l'aforestació (colonització pel bosc) d'espais agrícoles abandonats haurien de tenir en compte les condicions climàtiques més àrides previstes per als pròxims anys i decennis. Hi destaca la minva de la disponibilitat hídrica a conseqüència tant de la disminució de les precipitacions i/o de l'augment de l'evapotranspiració potencial, com de l'increment de la demanda d'uns ecosistemes més fertilitzats per l'acció humana i d'una població en augment. La gestió dels espais forestals i dels naturals, en general, ha d'incorporar l'escala de paisatge

en la qual s'inclogui una planificació a gran escala que tingui en compte la combinació d'espais de tipus divers així com el seu ús múltiple i l'efecte de les perturbacions, com, per exemple, els incendis forestals.

Paraules clau

canvi climàtic, ecosistemes terrestres, Catalunya, serveis ecosistèmics, resiliència, gestió

9.1. Introducció

En aquest capítol repassem tot el que hem après en el darrer quinquenni amb relació a la recerca feta durant els darrers decennis pel que fa a la resposta dels ecosistemes terrestres del nostre país al canvi climàtic com a resultat de la interacció amb el canvi atmosfèric provocat per l'activitat humana, així com les previsions per al futur immediat. El capítol se centra en els efectes del canvi climàtic en la genètica, l'epigenètica, la morfologia, la fisiologia i la fenologia dels organismes vius, les interaccions entre les espècies i la distribució, l'estructura i el funcionament dels ecosistemes i els efectes de retroalimentació dels canvis biològics en el cicle del carboni i, per tant, en el clima. Per consultar detalls concrets dels estudis esmentats en aquest capítol, remetem els lectors als articles que s'hi corresponen.

9.2. Respostes a escala molecular i en l'ús dels elements. Genètica, epigenètica, metabolòmica i estequiometria

La variabilitat genètica de les poblacions naturals que interactuen amb el clima possibilita l'aparició de l'adaptació i la resposta evolutiva als canvis que s'hi associen. Això s'ha pogut comprovar amb l'aplicació en poblacions forestals naturals de diferents tècniques de biologia molecular que han permès identificar al·lels lligats a aquestes respostes al clima i quantificar-ne la freqüència en la població o determinar el paper de les modificacions epigenètiques en una resposta adaptativa ràpida.

Mitjançant estudis tant de sèries temporals de camp al Montseny com de manipulació climàtica d'escalfament i dèficit hídric experimentals al Garraf, s'ha demostrat una capacitat d'aclimatació i d'adaptació (evolució) ràpida de les espècies com a resposta al canvi climàtic que aprofita la variabilitat genètica que existeix en les poblacions naturals. Tot i això, aquesta capacitat és limitada i ja s'han detectat impactes greus del canvi climàtic en els organismes i ecosistemes catalans (Peñuelas *et al.*, 2013).

Durant el darrer quinquenni, però, no solament s'han detectat canvis genètics en la resposta de les plantes i d'altres éssers vius a l'escalfament del planeta i a la sequera progressiva, sinó que també s'han descrit alteracions en l'expressió gènica que no es poden atribuir a variacions en la seqüència

de nucleòtids de DNA. L'epigenètica abasta un conjunt complex i interrelacionat de processos moleculars, com ho són la metilació del DNA i la modificació d'histones i de processos reguladors mediats per RNA. Se sap que la metilació de DNA és estable en el temps a escala individual, té diferents graus d'heretabilitat i pot ésser influenciada per l'ambient. Així, i mitjançant la utilització de marcadors moleculars específics sensibles a la metilació, és possible determinar la capacitat dels arbres per a produir en condicions naturals una resposta adaptativa ràpida basada en modificacions epigenètiques. D'aquesta manera s'han analitzat els canvis en els perfils de metilació d'alzines (*Quercus ilex*) sotmeses a una sequera provocada de manera experimental (Rico *et al.*, 2014), els quals han permès descriure una diferenciació epigenètica clarament atribuïble a la sequera que han experimentat (figura 9.1).

Durant el darrer quinquenni també s'han començat a utilitzar tècniques metabolòmiques per tal d'estudiar les respostes dels metabòlits pel que fa als diferents escenaris de canvi climàtic previstos per al nostre país. Aquesta resposta dona una visió global de la resposta fenotípica de l'organisme en relació amb els canvis ambientals. Així, en algunes espècies dominants dels nostres sistemes mediterranis, com ara el bruc d'hivern (*Erica multiflora*) o l'alzina (*Q. ilex*), s'ha descrit un descens de l'activitat de les vies metabòliques lligades a l'acumulació d'energia i al creixement, i un augment de les rutes metabòliques secundàries lligades als mecanismes antiestrès com a resposta a l'increment del grau de sequera (Rivas-Ubach *et al.*, 2012). Aquests canvis ràpids de l'organisme també comporten canvis químics, tant moleculars com de composició elemental als diferents òrgans de les plantes (Rivas-Ubach *et al.*, 2012), els quals, alhora, afecten la palatabilitat de les plantes i, per tant, la freqüència d'atac dels herbívors, de manera que la resposta metabolòmica altera la xarxa tròfica. S'ha observat, a més, que la resposta metabòlica és diferent, en un sentit oposat, als òrgans aeris i a les arrels d'un mateix individu (Gargallo-Garriga *et al.*, 2014) (figura 9.2). A la part aèria hi ha un descens de l'activitat de les vies metabòliques lligades al metabolisme primari i relacionades amb el creixement i amb les concentracions de nitrogen, fòsfor i potassi. Contràriament, a les arrels s'incrementen les concentracions dels metabòlits

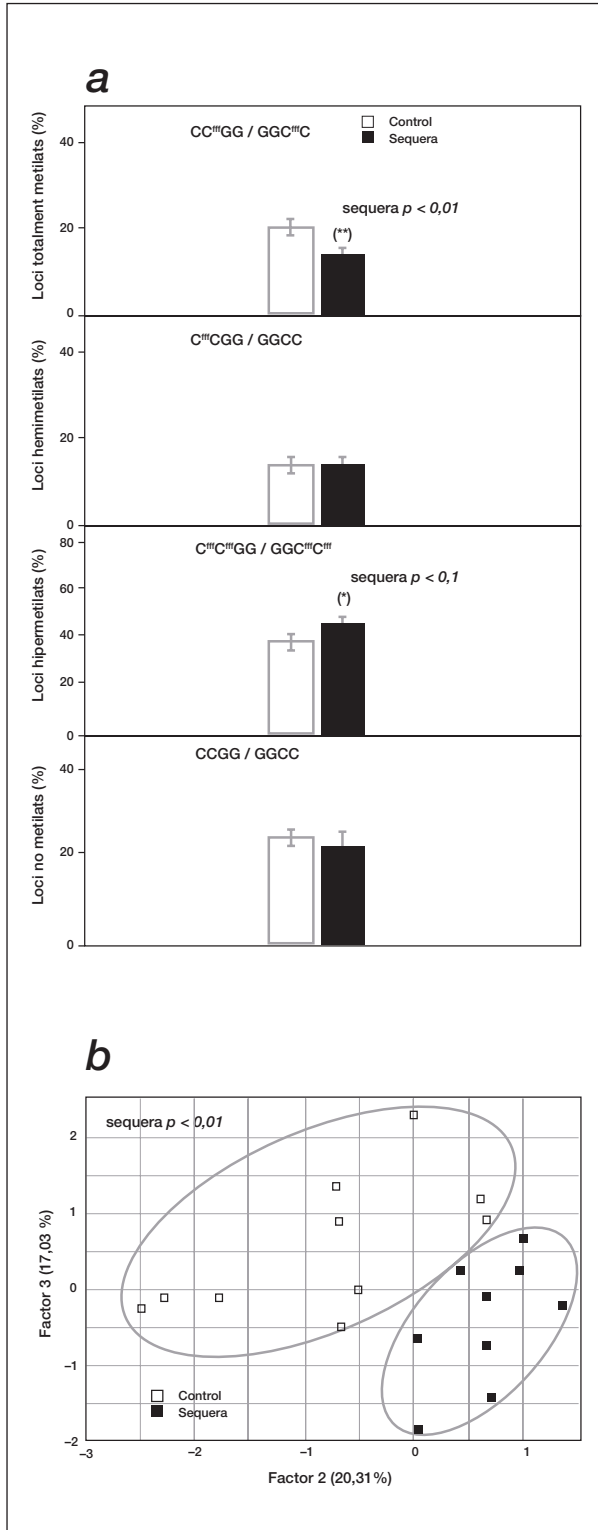


FIGURA 9.1. Estudi epigenètic de poblacions naturals de *Quercus ilex* sota condicions de control i sequera. a) Patrons de metilació de mostres foliaris. Es mostren els percentatges (mitjana \pm SE) de cada estat de metilació de la seqüència GGCC analitzada. Les diferències són analitzades amb ANOVA. Nivell de significació: * $p < 0,1$, ** $p < 0,01$. b) Anàlisi PCA de poblacions de *Quercus ilex* fent servir l'estat de metilació de cada locus. Els percentatges indiquen la proporció de variació explicada per cada factor. L'efecte de la sequera sobre els factors 2 i 3 generats per la PCA s'han calculat amb ANOVA (Rico *et al.*, 2014).

primaris relacionats amb la síntesi proteica i amb la producció energètica, com els aminoàcids i sucres, i augmenten les concentracions de nitrogen, fòsfor i potassi.

En respondre a la sequera, les plantes fan un ús proporcionalment diferent dels diversos elements emprats, de manera que les ràtios carboni/nitrogen/fòsfor/potassi varien, la qual cosa constitueix un primer pas cap a l'obtenció d'un flux distint d'elements per mitjà de la cadena tròfica i, per tant, una modificació en els cicles biogeoquímics del sistema planta-sòl. En estudis de camp duts a terme mitjançant gradients climàtics a Catalunya, Espanya i Europa, el nexa entre les concentracions, continguts i relacions estequiomètriques en les fulles de les principals espècies forestals es troba, en gran part, lligada amb les condicions climàtiques i, molt directament, amb la magnitud de les precipitacions. Per tant, l'agreujament en les condicions de manca de disponibilitat d'aigua va associat, no solament a canvis en els continguts i les concentracions dels nutrients en les plantes, sinó també a l'assignació en els diferents òrgans, a les relacions estequiomètriques entre els principals nutrients i, en darrer terme, al repartiment dels nutrients entre la planta i el sòl. Aquests canvis en la composició elemental del sistema sòl-planta estan lligats als processos de degradació que produeix la sequera i esdevenen un instrument per a detectar i seguir els efectes del procés de desertització així com una eina potencial per a poder-hi intervenir.

9.3. Respostes dels organismes

9.3.1. Canvis morfològics, fisiològics, fenològics i de creixement en plantes

Totes les respostes metabòliques que hem esmentat tenen un fort efecte en el creixement i desenvolupament dels organismes a mitjà i llarg termini. Per exemple, a l'alzinar de Prades s'ha observat que una petita reducció de la humitat del sòl ha implicat un descens molt important en l'increment de biomassa (Barbeta *et al.*, 2013). Aquesta forta disminució del creixement dels arbres ha estat produïda per una reducció de les taxes fotosintètiques netes i per un augment de la defoliació, encara que, malgrat tot, hi ha hagut una progressiva minva d'aquests efectes, sigui per adaptació epigenètica o per disminució de la biomassa foliar, per amb-

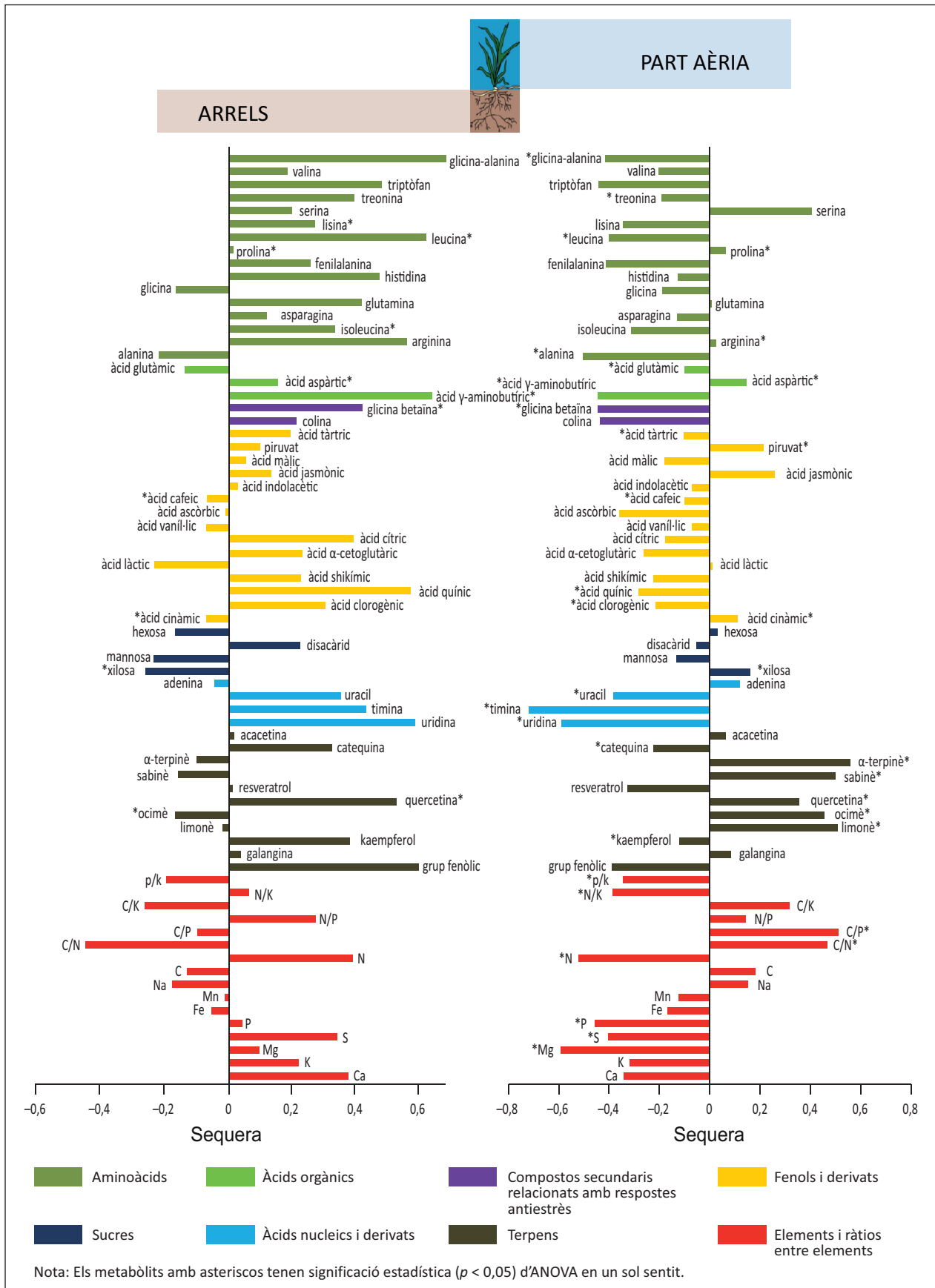


FIGURA 9.2. Resposta metabòlica i estequiomètrica antagònica d'arrels i part aèria de la planta a la sequera. Els valors de les variables metabòliques i estequiomètriques són els del seu pes en l'eix del PCA associat a la sequera (experiments duts a terme amb gramínies sotmeses a sequera experimental). Els diferents colors indiquen diversos grups de metabòlits (Gargallo-Garriga *et al.*, 2014).

dues raons i/o per d'altres no conegudes (Barbeta *et al.*, 2013). Amb el temps, però, l'efecte de la sequera es pot veure multiplicat per un exhauriment de l'aigua profunda del sòl.

En moltes espècies arbòries es produeix una forta aclimatació de la fotosíntesi i dels atributs morfològics a les variacions en les condicions estacionals del creixement. Els mecanismes fotosintètics són resilients a la sequera moderada, mentre que les sequeres perllongades provoquen l'aclimatació d'atributs morfològics, la disminució de la fotosíntesi i l'abscisió de les fulles. La recuperació insuficient de les reserves d'aigua del sòl durant la fase inicial de l'estació de creixement aguditza greument els efectes de la sequera estiuenca. També hi ha una notable aclimatació estacional de l'òptim tèrmic i de la corba de resposta de l'assimilació fotosintètica a la temperatura. L'aclimatació de cada espècie compensa parcialment aquestes tendències generals de resposta a la sequera i a l'estrès per temperatura.

Les espècies més mediterrànies mostren una forta capacitat d'aclimatació a condicions càlides i seques, però poden ser sensibles a la sequera persistent i a l'estrès per temperatura. L'èxit de les espècies de fulla perenne en les futures dinàmiques de competència i en les noves condicions ambientals no depèn únicament de la resistència a l'estrès abiòtic, sinó també de l'eficiència a l'hora de beneficiar-se ràpidament dels períodes en què les condicions ambientals són favorables. Els canvis fenològics són i seran una de les respostes més generalitzades al canvi climàtic que vivim, com els informes previs van destacar. Durant aquest quinquenni s'ha pogut observar que l'augment de les temperatures màximes és més determinant a l'hora de provocar que l'estació primaveral arribi abans que no pas el de les mitjanes. La fotosíntesi es produeix només de dia, de manera que la pujada de les temperatures diürnes, i més concretament de les màximes, és el factor que més afecta l'activitat fenològica (Piao *et al.*, 2015). Aquesta constatació ha permès desenvolupar un nou marc conceptual que millora la predicció dels canvis que patirà la fenologia de les plantes a causa del canvi climàtic.

El canvi climàtic, a més d'afectar la sortida de les fulles i l'època de floració, també altera la fenologia de la caiguda de la fulla en espècies caducifòlies d'hi-

vern, encara que l'escalfament i la sequera hi tenen efectes oposats. En general, l'escalfament endarrerix la senescència de la fulla, mentre que la sequera l'avança amb intensitats variables segons quina sigui l'espècie. L'impacte del canvi climàtic depèn, doncs, de la importància relativa de cada factor en regions o anys específics. L'aprofitament dels nutrients per reabsorció abans de la senescència de les fulles minva quan les fulles cauen prematurament a conseqüència de l'estrès hídric. Per tant, l'efecte del canvi climàtic en la reabsorció de nutrients resultarà del balanç entre els efectes contraposats de la sequera i de l'escalfament (Estiarte i Peñuelas, 2015). Aquest aspecte és important, ja que la construcció anual del fullatge nou es fonamenta, gairebé de manera exclusiva, en nutrients que es reabsorbeixen durant la tardor anterior. Així doncs, l'estrès hídric pot causar canvis en la fenologia de la senescència de la fulla que tenen la capacitat, alhora, d'afectar processos ecosistèmics tan importants com ara l'obtenció de carboni per l'ecosistema i el reciclatge dels nutrients.

L'emissió i acumulació de terpens per les plantes és un altre dels processos vegetals que són alterats per l'escalfament i l'eixut i tenen múltiples efectes sobre l'ecosistema. Poden ser de tipus abiòtic, com ara els efectes de retroalimentació en el clima, i biòtics, com les potencials variacions en la palatabilitat dels teixits vegetals o pels senyals als depredadors. En estudis sobre l'intercanvi de gasos i les taxes d'emissió de terpens de diverses espècies d'arbres i d'arbusts mediterranis sotmesos a una sequera experimental a les muntanyes de Prades, s'ha observat una tendència no significativa a la disminució del contingut de terpens, però un augment en les emissions totals, especialment a la primavera i la tardor. Aquests resultats han permès comprendre més bé el comportament interanual i estacional dels compostos volàtils de les plantes en condicions mediterrànies, una qüestió de gran interès pel que fa a la inflamabilitat dels boscos i a la química atmosfèrica. En aquests estudis també s'ha posat de manifest la necessitat que existeix de tenir en compte els efectes de la temperatura prèvia acumulada en els models d'emissió de monoterpens, especialment per a espècies capaces d'emmagatzemar terpens. Es va demostrar, a més, que l'ús dels models actuals d'emissions de terpens poden comportar tant la infraestimació com la sobreesti-

mació de les emissions en condicions de sequera estiuenca, ja que la major part d'algorismes actuals es basen només en la llum i la temperatura.

9.3.2. *Canvis morfològics, fisiològics, fenològics i de creixement en animals*

Els animals, com els altres éssers vius, afronten els reptes creats pel canvi climàtic per mitjà de tres estratègies fonamentals no excloents: 1) canviant-ne els períodes d'activitat (fenologia, comportament); 2) modificant-ne els atributs, com ara la mida del cos o la fisiologia; 3) alterant-ne els rangs de distribució. Els dos primers casos, fenologia i fisiologia, impliquen necessàriament bé l'evolució dels caràcters que permeten l'adaptació al clima o bé que aquests caràcters siguin prou plàstics per a adaptar-se a les variacions climàtiques en curs. El primer dels mecanismes requereix que una força selectiva, en aquest cas el canvi climàtic o qualsevol dels efectes que provoca, afavoreixi l'èxit reproductiu més gran possible de les variants amb més èxit ecològic, fet que comportaria, finalment, una modificació en l'estructura genètica i/o epigenètica de les poblacions. La plasticitat fenotípica, és a dir, l'habilitat d'un genotip de produir més d'una alternativa morfològica, fisiològica o comportamental, és, en canvi, un mecanisme que es manifesta en la resposta d'aclimatació a un determinat ambient de desenvolupament i que ha estat assenyalat des de fa diversos decennis com a posseïdor d'un alt valor adaptatiu. La plasticitat fenotípica com a possible mecanisme subjacent en diversos canvis observats com a resposta al canvi climàtic és, actualment, un tema de recerca que té un gran interès.

Pel que fa als canvis observats, els més ben documentats fins ara han estat els que impliquen canvis en la fenologia. Per exemple, s'han presentat dades fefaents relatives a l'avançament de les dates d'aparició de les abelles així com de la floració de determinades plantes que pol·linitzen.

Pel que fa als canvis en el rang de distribució, hi ha nombrosos exemples en què s'evidencia l'alteració de la distribució d'espècies, les quals s'estenen, en general, cap a latituds més properes als pols i/o en cotes més altes de les muntanyes. Cal tenir en compte, però, que la viabilitat d'aquesta estratègia dependrà en bona part dels mecanismes de dispersió de cada espècie i de la velocitat del canvi climàtic

experimentat per cadascuna de les poblacions. Per tant, esdevé fonamental conèixer si aquests canvis de distribució seran prou ràpids per a no ser superats pel ritme imposat pel canvi climàtic.

Encara que es coneixen a trets generals quines són les respostes de les espècies animals pel que fa al canvi climàtic, resta pendent esbrinar quins són els mecanismes ecoevolutius que les expliquen, per tal de preveure quines espècies tindran més èxit (per exemple, espècies invasores pròpies de climes més similars als que s'esperen a causa de l'acció del canvi climàtic, espècies de tipus oportunista o generalista, espècies amb grans marges de plasticitat fenotípica en caràcters clau o amb elevada variabilitat morfològica, fisiològica o etològica de base genètica o epigenètica). De manera similar, és clau preveure quines espècies podrien ser delmades a causa del canvi climàtic, com podria ser el cas de les que es troben en ambients pròxims als límits fisiològics i/o de distribució, o que tenen una baixa capacitat adaptativa, ja que és quelcom necessari per a gestionar d'una manera més eficient la biodiversitat.

Els estudis detallats de la variació fenotípica dels caràcters en poblacions naturals són claus per a determinar la importància relativa de la plasticitat i l'adaptació de les respostes al canvi climàtic. A Catalunya, estudis recents duts a terme amb una espècie model d'insecte (*Pieris napi*, una papallona diürna el genoma de la qual ha estat seqüenciat) han descrit cicles fenotípics anuals en caràcters associats amb la temperatura (figura 9.3). Concretament, s'han observat cicles anuals en caràcters com la melanització de les ales i la mida corporal, i s'han observat diferències significatives entre les poblacions alpines i les de terra baixa. Experiments de cria en condicions de laboratori han demostrat que la temperatura provoca canvis significatius en la melanització dels individus, fet que ha propiciat un augment de les observacions en poblacions naturals. Aquesta evidència suggereix que l'increment de la temperatura en escenaris futurs possiblement alterarà els cicles anuals fenotípics característics tant de les poblacions alpines com de les de terra baixa.

9.4. *Canvis en poblacions i comunitats*

Les diferents respostes de cada individu i cada espècie al canvi climàtic generen canvis no so-

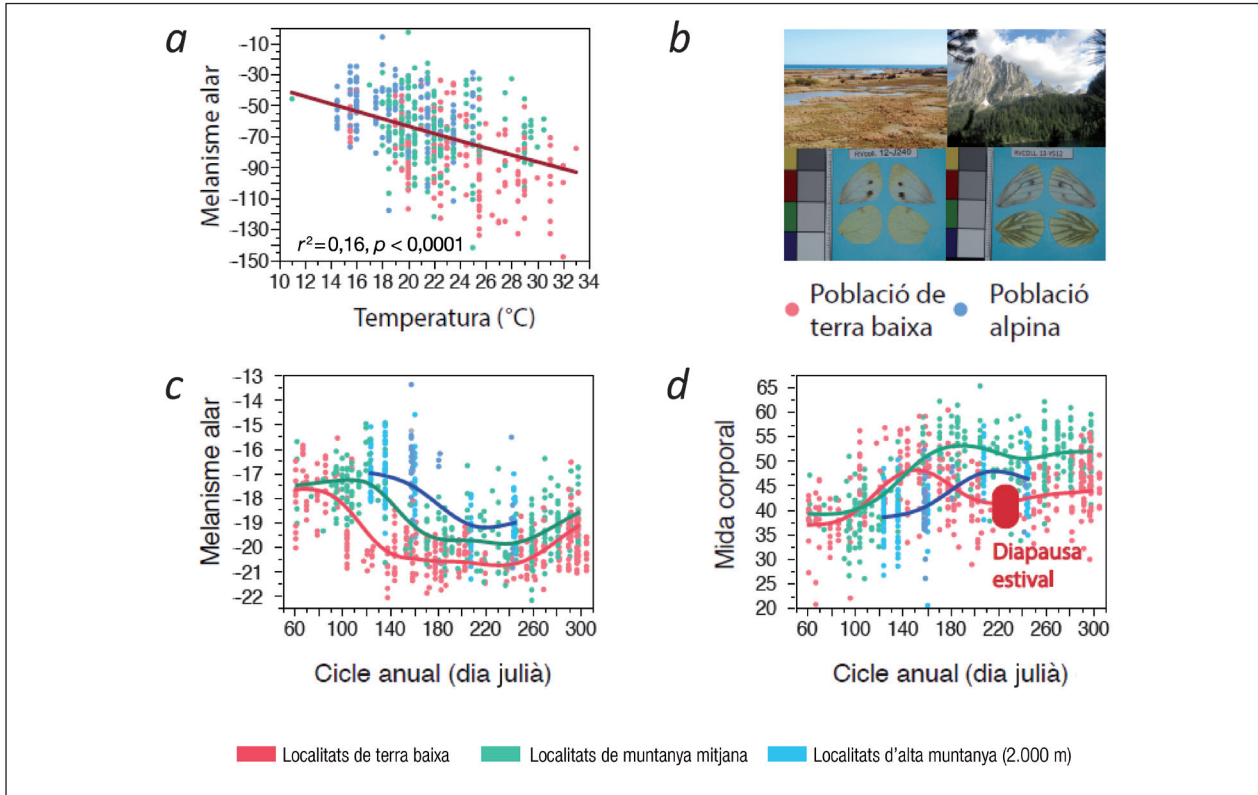


FIGURA 9.3. a) Relacions observades entre la melanització de les ales de *Pieris napi* i la temperatura de la localitat on es troba la planta hoste. b) Variació observada en el fenotip de les ales entre poblacions alpines i de les planures. c i d) Variació anual de tres atributs funcionals clau associats a respostes a la sequera (melanització de les ales, mida del cos i diapausa estival) de tres poblacions de l'espècie model *Pieris napi* seqüencialment distribuïdes al llarg d'un gradient altitudinal als Pirineus.

lament demogràfics, sinó en la composició i el funcionament de les comunitats. No totes les espècies arbòries es troben igualment afectades per les condicions de sequera. Per exemple, l'alzina, espècie actualment dominant als boscos mediterranis catalans, ha patit una important disminució de la productivitat i un increment de la mortalitat i de les taxes de defoliació, mentre que en altres espècies arbustives de port elevat i més adaptades a ambients àrids, l'efecte de la sequera ha estat mínim (Barbeta *et al.*, 2013). Si el clima mediterrani esdevé més àrid, tal com es preveu en els pròxims decennis, l'alzina podria ser parcialment reemplaçada per aquestes espècies arbustives de port alt més ben adaptades a l'eixut, de manera que el bosc tindria una capacitat més baixa per a segrestar CO₂ atmosfèric i contrarestar el canvi climàtic.

Durant els darrers anys s'ha constatat l'existència de respostes demogràfiques oposades en coníferes i angiospermes mediterrànies. Actualment, a la península Ibèrica s'està produint un avançament successional generalitzat dels boscos d'angiosper-

mes i també respostes de creixement negatiu pel que fa a la temperatura en les gimnospermes. Les diferències en els atributs bàsics de tots dos grups de plantes són la clau per a explicar-ne les diferents respostes a la temperatura i el paper diferenciat que tenen durant els processos successional.

9.4.1. Canvis en les emissions de fragàncies de fulles i flors de plantes amb efectes sobre les comunitats

Les plantes emeten una gran quantitat i diversitat de compostos orgànics volàtils (COV), com ara, per exemple, els terpens, els quals ja han estat esmentats i que tenen múltiples funcions fisiològiques i ecològiques que, a causa d'un efecte en cadena, es poden traduir en repercussions en les comunitats d'organismes, els ecosistemes, la qualitat de l'aire i fins i tot el clima. Les projeccions futures prediuen un increment substancial d'aquestes emissions com a resposta a la major part d'agents que formen part del canvi global. D'ells, la temperatura n'és un dels factors amb més pes i amb un efecte més clar sobre les emissions de COV, ja

que augmenta la volatilitat d'aquests compostos a més d'estimular-ne la síntesi. De fet, les emissions augmenten com a resposta a un increment de la temperatura, no solament en teixits vegetatius com ho són les fulles, que emeten la fracció més significant dels COV emesos per la vegetació, sinó també en altres estructures menys representatives però que tenen un paper biològic molt important, com ho són les flors (Farré-Armengol *et al.*, 2014).

Els estudis realitzats prediuen un increment generalitzat de les emissions de COV de les flors juntament amb l'ascens de les temperatures, tot i que la magnitud del canvi dependrà de l'espècie. L'augment de COV comportarà l'increment de l'efecte senyal d'aquests compostos per als pol·linitzadors, de manera que podrà repercutir en la variació de l'habilitat competitiva d'aquest grup funcional (Farré-Armengol *et al.*, 2014). També es preveu que un ascens de la temperatura provoqui canvis en la composició relativa de les olors florals que, per tal com és la senya d'identitat perquè pol·linitzadors especialistes les reconeguin, en podrien pertorbar els processos i l'efectivitat de la localització floral. Així mateix, un altre estudi recent ha demostrat que la fragància de les flors depèn dels fongs i bacteris presents a la superfície, els quals, alhora, són fortament influenciats per la temperatura i l'estat hídric.

Existeixen altres fenòmens associats al canvi global que també afecten les emissions de COV. Un exemple n'és l'augment de l'ozó troposfèric, el qual té un impacte molt variable a escala local i temporal. L'exposició a concentracions elevades d'ozó pot provocar situacions d'estrès en les plantes, les quals fan que augmentin les emissions de COV de manera important; però, alhora, redueix sensiblement el temps de vida dels COV emesos a causa de la ràpida oxidació i interfereix en algunes de les funcions ecològiques. En el cas de les emissions florals, l'ozó redueix la concentració de COV en relació amb la distància i en modifica la composició relativa, motiu pel qual la distància efectiva d'atracció de pol·linitzadors a les flors es veu reduïda.

9.4.2. Efectes sobre la rizodeposició, els microorganismes del sòl, la fil·losfera i l'herbivoria

En el procés de rizodeposició, un gran conjunt de components (entre els quals s'inclouen l'aigua,

l'oxigen lliure, els ions, els enzims, els mucíl·lacs i els compostos orgànics) són alliberats al sòl per les arrels de les plantes i usats per diferents seccions de la comunitat microbiana. La rizodeposició té un paper important en diversos tipus d'interaccions entre plantes i altres grups d'espècies —entre els quals hi ha l'al·lelopatia—, les interaccions entre plantes paràsites i els seus hostes, l'activitat antimicrobiana i com a font de carboni per als microorganismes. Aquesta estimulació dels microorganismes pot impulsar la descomposició de la matèria orgànica dels sòls (SOM), la producció de nitrogen i la disponibilitat d'altres nutrients per a les plantes. La rizodeposició pot causar, també, canvis en l'estructura del sòl mitjançant l'increment de l'estabilitat dels agregats per alliberament de polisacàrids i proteïnes amb propietats que les fan actuar com a ciments.

Hi ha evidències que l'escalfament pot incrementar la rizodeposició, com s'ha demostrat en *Oryza sativa*, *Abies fargesii* var. *faxoniana* i *Picea asperata*. En canvi, malgrat l'efecte negatiu que se sap que l'estrès hídric té en la biomassa vegetal, s'han observat resultats contradictoris pel que fa als efectes de la sequera sobre la rizodeposició. D'una banda, s'han descrit increments de la rizodeposició en els casos d'*Agropyron cristatum*, *Zea mays*, *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* i una barreja de pastures i herbes; però, de l'altra, l'inhibició en aquest procés en *Calluna vulgaris* i cap efecte significatiu en *Brassica napus*, *Triticum aestivum*, *Medicago sativa*, *Helianthus annuus* i *Glycine max*. Aquesta divergència de resultats apunta que és necessari dur a terme una recerca més intensiva en aquest àmbit.

Les comunitats microbianes del sòl regulen el cicle del carboni a escala global i els cicles dels nutrients, i, per tant, el coneixement de quins impactes causen és clau per a entendre de quina manera la biosfera podria retroalimentar el canvi climàtic. Els canvis en els règims de precipitació poden alterar la composició de la comunitat microbiana per l'extinció local de determinades unitats taxonòmiques operacionals (OTU) o, per exemple, canviant l'abundància relativa de bacteris i fongs, amb clares diferències funcionals en l'àmbit de la descomposició. Així, s'ha observat en dos ecosistemes mediterranis catalans amb

tractaments de sequera a llarg termini (deu anys) que la sensibilitat dels fongs als canvis estacionals en la humitat, la temperatura i l'activitat de la planta és menys acusada que la dels bacteris. D'altra banda, les comunitats de fongs presenten una gran habilitat per a adaptar-se als canvis associats a les estacions, fet del qual es dedueix el paper que tenen en la descomposició del SOM terrestre i, en especial, en les dures condicions ambientals dels ecosistemes mediterranis, fet important atès l'augment de l'aridesa que s'espera en el futur.

Les comunitats microbianes del sòl són més resilient; és a dir, es recuperen més ràpidament que les mateixes plantes després d'haver patit una pertorbació, ja que l'estructura de les comunitats de bacteris es troba principalment determinada per les fluctuacions ambientals a curt termini. Tanmateix, després d'un llarg període de sequera no s'observa un efecte crònic en la funcionalitat de les comunitats microbianes del sòl, fet que posa en evidència l'estabilitat funcional d'aquestes comunitats com a resposta a prolongats períodes de sequera moderada. S'han observat resultats semblants en cinc experiments anàlegs a llarg termini en un gradient geogràfic a Europa.

També s'ha pogut comprovar que en alzinars de *Q. ilex* la sequera provoca un fort efecte en la diversitat de la comunitat microbiana (tant fongs com bacteris) que colonitza la superfície de les fulles (fil·losfera). Mitjançant la detecció d'un gen implicat en la fixació de nitrogen atmosfèric (*nifH*), s'ha demostrat la presència de bacteris fixadors de nitrogen associats a les fulles d'alzines, presència fortament afectada tant per l'estacionalitat com per la sequera i, concretament, això es veu si augmentem considerablement la riquesa de fixadors en condicions de temperatura elevada i sequera. L'estrès hídric influeix de manera freqüent en els nivells de nutrients en les plantes i, tenint en compte estudis anteriors, en el canvi estequiomètric de carboni/nitrogen/fòsfor de l'alzina. Això, juntament amb el fet que la ràtio nitrogen/fòsfor del medi té una gran transcendència en els processos lligats a la fixació del nitrogen, podria explicar els canvis que s'observen en la comunitat de fixadors de nitrogen, especialment quan es donen condicions dures a l'estiu.

L'herbivoria, sobretot per part d'insectes, és un dels principals atacs als quals s'enfronten els arbres i, per extensió, els boscos. S'ha suggerit que la sequera associada al canvi climàtic pot predisposar els arbres a patir aquests atacs. Com a exemple, veiem que s'ha demostrat que la processonària del pi (*Thaumetopoea pityocampa*), el principal defoliador de coníferes a la Mediterrània, es veu afavorida per l'augment de les temperatures mínimes, el principal factor que li limita la supervivència. Els atacs per processonària, quan són molt intensos, poden convertir els boscos, que usualment són embornals de carboni, en emissors nets de carboni. Alhora, part del carboni fixat es podria acabar perdent a causa d'un augment de les emissions de compostos orgànics volàtils, compostos amb influència en la química atmosfèrica i la formació d'aerosols, un dels aspectes més desconeguts dels processos climàtics (IPCC, 2014). A més a més, experiments de manipulació climàtica al camp han permès observar que l'increment de la sequera té efectes indirectes pel que fa a les relacions insecte-planta, com un increment de la defoliació per herbívors associat a un augment del contingut foliar de sucres i fenols, en correlació amb uns efectes poc previsibles pel que fa a la comunitat.

9.4.3. Comunitats pertorbades i joves, les més sensibles

En un experiment a llarg termini (catorze anys) de simulació de condicions d'escalfament i de sequera en augment en set localitats de matollar distribuïdes geogràficament arreu d'Europa, es van monitorar els canvis en la vegetació en termes d'abundància i d'espècies dominants. L'estudi incloïa matollars no pertorbats des de feia molt de temps i d'altres que havien patit plagues o incendis recents, com va ser el cas del matollar del Garraf (Barcelona), que va patir un incendi l'any 1994. Els ecosistemes que han estat alterats, ja sigui per causes naturals o per l'activitat humana, són més vulnerables al canvi climàtic (Kröel-Dulay *et al.*, 2015). Un cop l'associació entre activitat humana i la freqüència i la severitat de les pertorbacions que desequilibren els ecosistemes hagi estat constataada, la resposta dels ecosistemes al canvi climàtic serà més ràpida en ecosistemes pertorbats, així com els canvis en el paisatge que s'hi associen. Aquests estudis revelen la necessitat de conèixer

la història i l'estat successional dels ecosistemes per a poder predir amb exactitud quina resposta tindrà al canvi climàtic, en que caldrà parar una especial atenció als ecosistemes recentment degradats o en estats successional primers.

9.5. Ecosistemes, biogeoquímica i funcionament

9.5.1. Resposta dels alzinars a les sequeres a llarg termini

Els experiments de sequera duts a terme en diversos boscos indiquen que un augment de la intensitat, la freqüència i la durada de les sequeres pot afectar negativament els ecosistemes mediterranis com ara els alzinars. Si disminueix la disponibilitat hídrica, els arbres transpiren menys, assimilen menys carboni i, en conseqüència, creixen menys. A més, un increment de la mortalitat en les espècies més vulnerables a la sequera podria afavorir espècies més resistents, fet que produiria canvis en l'estructura i la composició dels ecosistemes i en els serveis ambientals que ofereixen. Tot i això, gràcies a un estudi realitzat a Prades entre 1999 i 2011, en què s'analitzaven les taxes de creixement i de mortalitat, s'hi va poder constatar que les di-

ferències entre el creixement i la mortalitat en les parcel·les de sequera i les de control observades al principi de l'experiment es van reduir o van desaparèixer (en el cas del creixement, figura 9.4). Per tant, com a mínim en el cas de l'alzinar, l'efecte de l'augment de les sequeres podria ser menys intens del que havíem suposat.

Les causes de l'esmoreïment de l'efecte de la sequera experimental són diverses, però es podria explicar parcialment a causa de la disminució de la competència pels recursos hídrics entre individus com a resultat de la mortalitat més elevada que alguns presenten en les parcel·les de sequera en comparació amb la de les parcel·les de control, atesa la disminució de l'àrea basal en les primeres. Aquesta compensació de l'efecte del tractament de sequera també es va accelerar per l'aparició d'episodis de sequera extrems, com els que van succeir durant els anys 2005 i 2006, que van augmentar dràsticament la mortalitat de peus. És també possible que certs ajustos en la morfologia, l'al·lometria i la fisiologia dels arbres resultants de modificacions epigenètiques puguin contribuir a l'acimatació del bosc a condicions ambientals més seques.

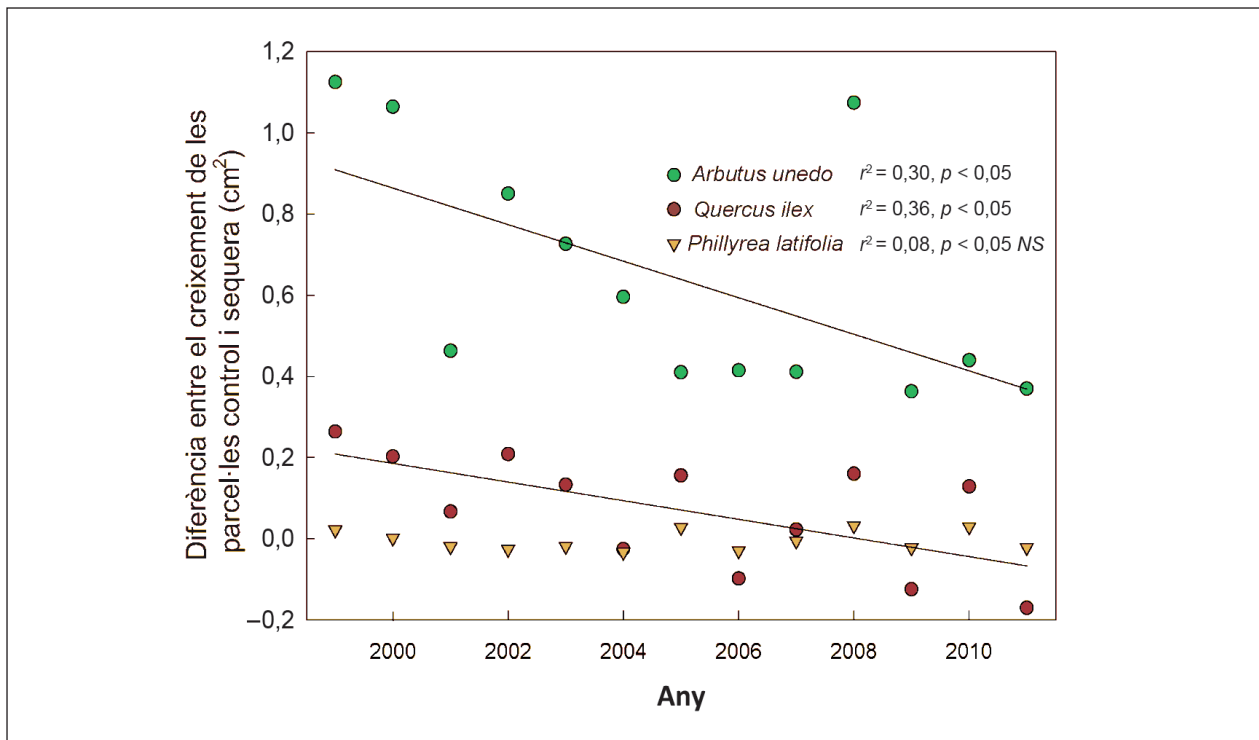


FIGURA 9.4. Diferència entre el creixement de l'àrea basal a les parcel·les de control i el de les de sequera a l'experiment de l'alzinar de Prades amb les tres espècies estudiades (*Arbutus unedo*, *Quercus ilex* i *Phillyrea latifolia*). Es mostra el coeficient de determinació i el nivell de significació de la tendència temporal de la variable dependent per a cada una de les espècies (Barbeta *et al.*, 2013).

En un estudi dut a terme en parcel·les de sequera i de control i mitjançant l'ús d'isòtops estables de l'aigua del sòl, es va estudiar la profunditat d'absorció radicular de l'aigua en diverses estacions de l'any i entre els estius d'anys amb diferents condicions de sequera contrastades. En les parcel·les de control, l'aigua profunda era la d'ús preferent durant els estius, mentre que en les estacions humides s'utilitzava de manera preferent l'aigua d'horitzons superficials. Amb els tractaments de sequera, aquest patró es va veure alterat, ja que en les estacions humides els arbres prenen relativament més aigua profunda. Aquesta diferència podria estar relacionada amb certes diferències en la distribució de les arrels fines, les quals en les parcel·les de sequera es podien trobar en un nivell més profund per a evitar la dessecació estival. En canvi, a l'estiu, la sequera provocada en l'experiment disminuïa l'ús d'aquesta aigua més profunda, probablement per l'esgotament de les reserves d'aigua atrapada dins la roca fracturada.

La principal conclusió d'aquests estudis és que la resiliència dels alzinars a l'augment de la sequera és més important del que es pensava inicialment i, per tant, aquests ecosistemes es podrien adaptar a un increment progressiu de les condicions àrides. De tota manera, els mecanismes de resistència i resiliència a la sequera, tant pel que fa als arbres com a l'ecosistema, podrien no ser suficients per a mitigar els efectes d'episodis de sequera de durades i intensitats extremes. En aquest sentit, és urgent dur a terme estudis que avaluïn directament les conseqüències d'aquests episodis en l'estructura i la funció dels ecosistemes, així com en la posterior recuperació i en l'efecte acumulat o llegat de més d'un episodi extrem.

9.5.2. Alteracions en l'ús dels nutrients

Estudis recents basats en les dades de l'Inventari Forestal Català han permès observar que el contingut i l'assignació de nutrients a diferents òrgans (fulles i fusta) en els boscos catalans es troben significativament correlacionats amb les condicions climàtiques i, especialment, amb la precipitació anual, amb un contingut més gran quan hi ha una precipitació més elevada, especialment a les fulles. Això ens mostra, un cop més, la importància de la disponibilitat hídrica en els nostres ecosistemes forestals i que petites disminucions en la disponi-

bilitat de l'aigua poden produir impactes desproporcionadament grans en la capacitat dels nostres boscos de retenir i acumular nutrients.

Estudis experimentals de simulació de canvi climàtic en condicions de camp han permès obtenir més evidències en aquest sentit i en relació amb les projeccions dels principals models climàtics de Catalunya. Concretament, s'ha suggerit que un increment moderat de l'eixut (15-20 % de disminució de la disponibilitat d'aigua al sòl) provoca de manera general una disminució de les concentracions i els continguts de nitrogen (N), de fòsfor (P) i de micronutrients als matollars i als boscos mediterranis catalans. Tanmateix, els continguts totals de nutrients a les biomasses aèries, sobretot a les capçades, disminueixen amb aquests nivells de sequera, si exceptuem el potassi, que pot augmentar en els òrgans aeris d'algunes espècies. L'eixut incrementa les ràtios C:N i C:P dels nostres matollars i boscos, fet que es troba associat a les estratègies de les mateixes plantes per a defensar-se davant el descens de la disponibilitat d'aigua, amb l'augment corresponent d'esclerofília.

De manera similar, la sequera també provoca canvis en les assignacions de nutrients entre diferents òrgans, de manera que s'incrementa l'assignació de nitrogen cap a les arrels, fet que probablement es relaciona amb la necessitat més elevada que existeix d'obtenir aigua. Tots aquests canvis funcionals pel que fa a l'eixut es veuen reflectits en una disminució del creixement de moltes espècies dominants, si bé aquest efecte, com ha estat esmentat anteriorment, depèn en bona part de l'espècie i, alhora, dels canvis ecofisiològics així com de l'activitat fotosintètica, l'eficiència en l'ús de l'aigua, l'intercanvi de gasos entre la fulla i l'atmosfera, i la capacitat de protegir-se contra l'estrès provocat per la disponibilitat més escassa d'aigua. Aquesta informació aporta les pistes necessàries per a poder escatir quines espècies poden sortir més malparades d'un increment de la sequera als nostres ecosistemes i predir l'estructura de les nostres comunitats vegetals a mitjà termini si les projeccions climàtiques s'acompleixen.

Els efectes d'un augment de la sequera en els sòls són també considerables, fet crític, puix que són un dels principals embornals de carboni del plane-

ta. Experiments de simulació de canvi climàtic en condicions de camp han permès comprovar que la mineralització de la matèria orgànica en els sòls mediterranis es troba fortament afectada pels canvis de disponibilitat hídrica (Sardans *et al.*, 2012). S'han observat disminucions en l'activitat dels enzims del sòl, en la respiració del sòl i en l'activitat enzimàtica a la rizosfera com a resposta a nivells moderats d'increment de la sequera, de manera que la disminució de l'activitat enzimàtica ha pogut ser observada directament en relació amb la reducció del contingut d'aigua al sòl (Sardans *et al.*, 2012). La disminució de la mineralització del sòl promouria l'acumulació de nutrients en formes fisicoquímiques no assimilables que, en un escenari de pluges torrencials, faria augmentar els fluxos de nutrients cap a les aigües continentals. En aquest sentit, s'ha comprovat que els tractaments de sequera en parcel·les experimentals dels boscos de Prades redueixen el contingut de nitrogen a l'ecosistema perquè es redueix el contingut total de nitrogen a la biomassa i n'augmenten les pèrdues per lixiviació (Peñuelas *et al.*, 2013).

9.5.3. La teledetecció de biomassa verda i com funciona

Les sèries temporals de dades de satèl·lit són especialment útils per a l'estudi de l'impacte del canvi climàtic en els ecosistemes terrestres. Paràmetres

clau a causa de la importància que tenen en els processos de superfície com ara la fotosíntesi, la respiració o la transpiració poden ser estimats a partir dels paràmetres obtinguts mitjançant teledetecció, com, per exemple, l'índex d'àrea foliar (LAI) o la fracció de radiació fotosintèticament activa absorbida (FAPAR). El LAI controla els intercanvis d'energia, d'aigua i de gasos amb efecte d'hivernacle entre la superfície i l'atmosfera, i la FAPAR és una de les principals variables d'entrada en els models d'eficiència per a calcular la producció primària. Així, per exemple, s'han generat i analitzat sèries temporals de LAI i FAPAR des del 1999 fins a l'època actual a partir de dades SPOT VEGETATION (Verger *et al.*, 2014). De la mateixa manera, el sensor AVHRR, que es troba a bord de les plataformes NOAA, permet obtenir sèries temporals globals des de 1981 i amb previsions de continuïtat en el futur mitjançant programes internacionals de les organitzacions meteorològiques (NOAA i Eumetsat). A Catalunya, els canvis observats en la dinàmica de la vegetació dels darrers trenta anys indiquen un increment de la quantitat de vegetació (tendències positives en el canvi de LAI) i un avançament en el desenvolupament (tendències negatives al començament de les estacions de creixement de la vegetació) (figura 9.5). Les tendències observades en el LAI es poden explicar per l'augment de la temperatura, si bé la

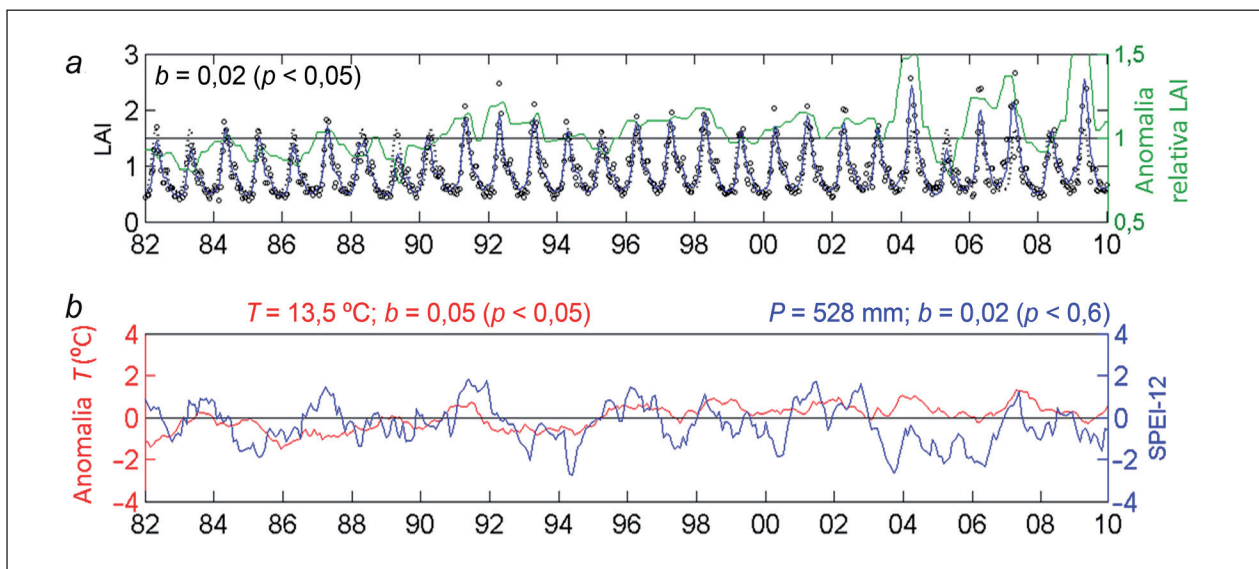


FIGURA 9.5. a) Perfils temporals d'una àrea de $0,5^\circ$ de resolució espacial centrada en les coordenades lat. $41,25^\circ$ N i long. $1,75^\circ$ E a la zona de Prades (Catalunya) per al període 1982-2010 i referents a l'índex d'àrea foliar (LAI) GIMMS3g i a les anomalies relatives de LAI respecte al valor interanual mitjà. S'observa una tendència significativa i positiva de $0,02$ LAI. b) Anomalies en la temperatura anual i l'índex de sequera SPEI acumulat anual. S'indica el valor mitjà de la temperatura i la precipitació anual acumulada, així com la tendència significativa en el canvi de temperatura i la tendència no significativa en l'SPEI.

disponibilitat d'aigua també hi permet explicar la variabilitat interanual.

La diagnosi i comprensió de les variacions espacials i temporals de la capacitat fotosintètica i la quantificació de la fotosíntesi de les plantes com a resposta al canvi climàtic tenen una gran importància per a quantificar l'absorció de carboni per via de la fotosíntesi, i la teledetecció és una de les eines més adients. Aquest quinquenni s'ha continuat progressant en l'ús de l'índex de reflectància fotoquímica (PRI) per a estimar el rendiment fotosintètic al Parc Natural del Garraf, on s'han obtingut resultats que confirmen la idoneïtat d'aquest paràmetre com un indicador prometedor de les respostes de les taxes fotosintètiques al canvi climàtic a Catalunya i, per extensió, a la vegetació mediterrània a llarg termini.

9.5.4. Els efectes del canvi climàtic sobre el balanç de carboni

Els ecosistemes terrestres segresten, aproximadament, d'un 15 a un 30% de les emissions antropogèniques de CO₂. Malgrat això, el balanç de carboni d'un sistema pot variar substancialment segons quines siguin les condicions ambientals. La pujada de les temperatures podria fer que la producció primària bruta (PPB) i la respiració dels ecosistemes (Reco) augmenti, i això podria alterar el balanç de carboni dels ecosistemes i la producció neta (PNE = PPB – Reco). Investigacions recents apunten que la respiració podria ser lleugerament més sensible que la PPB a la pujada de les temperatures, fet que pot comportar una reducció en la capacitat de segrestar carboni dels ecosistemes durant l'escalfament previst per als pròxims decennis, la qual cosa faria que les concentracions de CO₂ atmosfèric i les temperatures globals augmentessin encara més.

Tot i això, l'efecte fertilitzant que l'increment de les concentracions de CO₂ pot tenir en la fotosíntesi i, de retruc, en la capacitat de segrestar carboni podria mitigar l'efecte negatiu de la pujada de les temperatures, si bé alguns estudis han indicat que aquest efecte tendeix a esmorteir-se al llarg del temps a causa de la intervenció d'altres factors, com ara la disponibilitat de nutrients com el nitrogen o el fòsfor, que limiten la PPB (Peñuelas *et al.*, 2013).

D'altra banda, la pujada de les temperatures que el planeta ha experimentat s'ha repartit de manera desigual al llarg de l'últim segle. Concretament, les temperatures mínimes —que es registren durant la nit— s'han incrementat 1,4 vegades més que les temperatures màximes —les quals s'experimenten durant el dia—, fet que ha provocat l'alteració dels fluxos de carboni i del creixement vegetal d'una manera inesperada. Per exemple, a l'hemisferi nord s'ha pogut comprovar que a les regions fredes d'alta muntanya i humides temperades l'augment generalitzat de les temperatures diürnes (màximes) que estimula la fixació de CO₂ durant les hores de sol va acompanyat d'un increment de la respiració durant la nit a causa de la pujada més significant de les temperatures a la nit (mínimes), de manera que es limita la captura total de CO₂. Per contra, en regions temperades i àrides s'ha comprovat el patró contrari, fet que posa de manifest la variació geogràfica d'aquest flux i indica la necessitat d'incloure aquestes variacions en els models i projeccions de capacitat d'absorció de CO₂ per al futur immediat.

9.5.5. Efectes ambientals diversos del canvi climàtic: l'exemple dels contaminants orgànics persistents

Els compostos orgànics persistents (COP) són substàncies sintètiques, tòxiques i associades a activitats agrícoles, urbanes i industrials. Els COP es troben distribuïts per tot el planeta, i la regió mediterrània no n'és cap excepció. En el cas concret de Catalunya, les dades disponibles assenyalen que existeixen concentracions d'aquests compostos en la població humana per sobre de les concentracions que hi ha als Estats Units i a Alemanya, els únics països que en fan un seguiment regular. Aquest fet pot tenir l'origen en la forta pressió agrícola i industrial de Catalunya, sobretot pel que fa al tèxtil i a les indústries plàstiques. Malgrat que la producció i l'ús de la major part dels COP ja ha estat prohibida, aquests contaminants encara són presents en el medi ambient en concentracions rellevants, especialment en zones temperades de l'hemisferi nord.

A causa de les propietats físiques i químiques dels COP, les quals en determinen la volatilitat i condensació, la temperatura es converteix en un factor clau a l'hora de determinar el transport d'aquests

contaminants en l'àmbit global, regional i local, així com la bioacumulació (figura 9.6) i els efectes en el medi ambient. Per tant, canvis en la temperatura, com els que ja han ocorregut i els que s'esperen a conseqüència del canvi climàtic, poden tenir una influència en la distribució i redistribució d'aquests compostos a la Terra. Malauradament, la literatura científica relativa a aquest tema és escassa i hi manca una quantificació precisa dels efectes del canvi climàtic en la dinàmica global dels COP, tot i que algunes dades primerenques han indicat la revolatilització dels COP a l'Àrtic provocada pels efectes del canvi climàtic.

A Catalunya i a la regió mediterrània, els augments de temperatura afecten directament la partició de fase d'equilibri d'aquestes substàncies semivolàtils, fet que n'afavoreix la revolatilització a l'atmosfera en un fenomen que també s'ha descrit als Pirineus catalans. L'increment en les concentracions dels COP a l'atmosfera en fa accelerar la mobilitat i dispersió, cosa que propicia la transferència i condensació d'aquests contaminants a zones més fredes. De fet, s'estima que fins a un 22 % dels PCB de les regions mediterrànies haurà emigrat al nord d'Europa i a l'Àrtic l'any 2100 i, a més, s'espera que la pujada de les temperatures accelerarà la biotransformació dels COP en nous congèneres, similars estructuralment, però sovint

molt més tòxics i persistents, com s'ha observat en tapets microbians d'estanys pirinencs (Bartrons *et al.*, 2011). Els canvis en la biodiversitat i en l'estructura tròfica dels ecosistemes són altres conseqüències del canvi climàtic que poden tenir efectes directes en la transferència, la distribució i la bioacumulació dels COP en les xarxes tròfiques, per exemple en els processos de biomagnificació de contaminants. Per això es fa palesa la necessitat de tenir en compte els efectes, possibles i greus, de l'increment de la temperatura en la toxicitat d'aquests contaminants en els humans i en tota la biosfera.

La disminució prevista de les precipitacions a Catalunya podria conduir a una reducció de la deposició humida dels COP, la qual és una via clau d'entrada dels contaminants orgànics persistents menys hidròfobs (per exemple, els HCH, els HCB i els PCB, els DDT i els DDE de mida més petita) als ecosistemes de muntanya catalans. Per contra, l'augment en la probabilitat que es produeixin inundacions i tempestes torrencials a les regions mediterrànies pot incrementar l'alliberament i la remobilització dels COP emmagatzemats en sòls i sediments, fet que ja s'observa a Bohèmia. Finalment, cal destacar també que els canvis en els patrons i les velocitats dels vents associats al canvi climàtic poden accelerar el transport at-

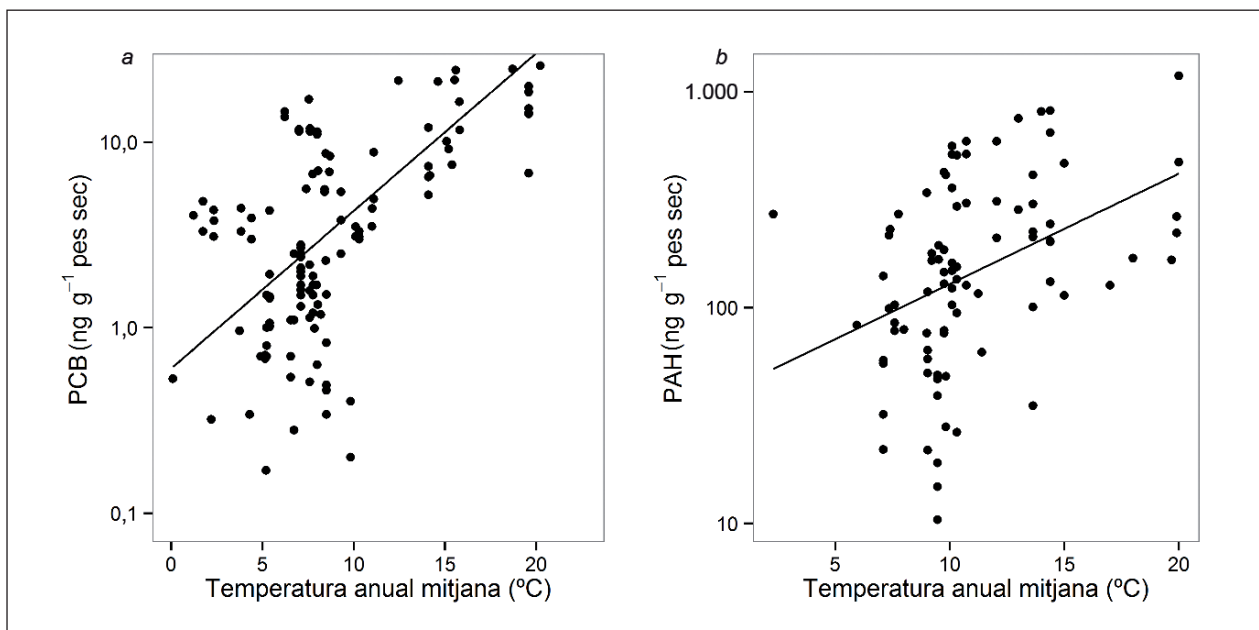


FIGURA 9.6. Relació entre la concentració de PCB i PAH (ng g^{-1}) amb la temperatura mitjana anual (TMA, $^{\circ}\text{C}$) en fulles de gimnospermes (generalment *Pinus sylvestris*), molt probablement influenciada per l'emissió i reemissió més elevades de contaminants en zones més càlides. a) $y = 0,08 \text{ TMA} - 0,22$, $r^2 = 0,45$, $p < 0,0001$; b) $y = 0,05 \text{ TMA} + 1,60$, $r^2 = 0,16$, $p < 0,0001$.

mosfèric a llargues distàncies dels contaminants orgànics persistents en fase gasosa o associats a partícules.

9.6. Què podem aprendre dels canvis climàtics del passat i dels efectes que han tingut en els boscos de Catalunya?

La paleoclimatologia, la ciència que permet reconstruir els canvis climàtics del passat, és una eina imprescindible per a predir les possibles respostes dels organismes i dels sistemes al canvi climàtic que actualment estem patint. Múltiples registres permeten fer-ne ús a Catalunya i el nord-est peninsular, gràcies especialment als lacustres, que són els que abasten un període més extens i mostren una resolució més bona. Els estanys són excel·lents «sentinelles» dels canvis ambientals, tant locals com globals, i els que es troben a la muntanya són especialment adients, ja que l'impacte antròpic hi té un efecte difús. D'altra banda, les zones d'alta muntanya són altament sensibles a la variabilitat climàtica, sobretot quan s'estudien zones que contenen ecotons importants com, per exemple, el límit altitudinal de creixement arbori (Cunill *et al.*, 2012)

o els nous hàbitats generats amb aquesta variabilitat i que han estat potencialment colonitzats.

Quan duem a terme un exercici retrospectiu com aquest cal tenir en compte que en un territori com el del Principat, el qual ha estat densament poblat durant els darrers mil·lennis, els canvis de vegetació han estat el resultat de l'acció combinada dels canvis climàtics i de l'impacte de les societats sobre el paisatge.

9.6.1. Desglaciació i arribada de l'Holocè

En el procés de desglaciació des de l'últim màxim glacial (LGM, 20.000-19.000 anys), les temperatures ascendents, tot i que baixes comparades amb les actuals, juntament amb unes condicions relativament àrides, van afavorir la dominància d'espècies estepàries combinades amb boscos de pins en zones de muntanya mitjana (estany Estanya, 670 m s. m.; Vegas *et al.*, 2013) (figura 9.7). El front de gel, que arribava a cotes mínimes al voltant dels 1.000 m s. m. durant el pleniglacial (Pallàs *et al.*, 2006) va retrocedir com a resultat d'un escalfament progressiu que va arribar al seu màxim durant l'òptim climàtic holocè (HCO), associat a un clima cada

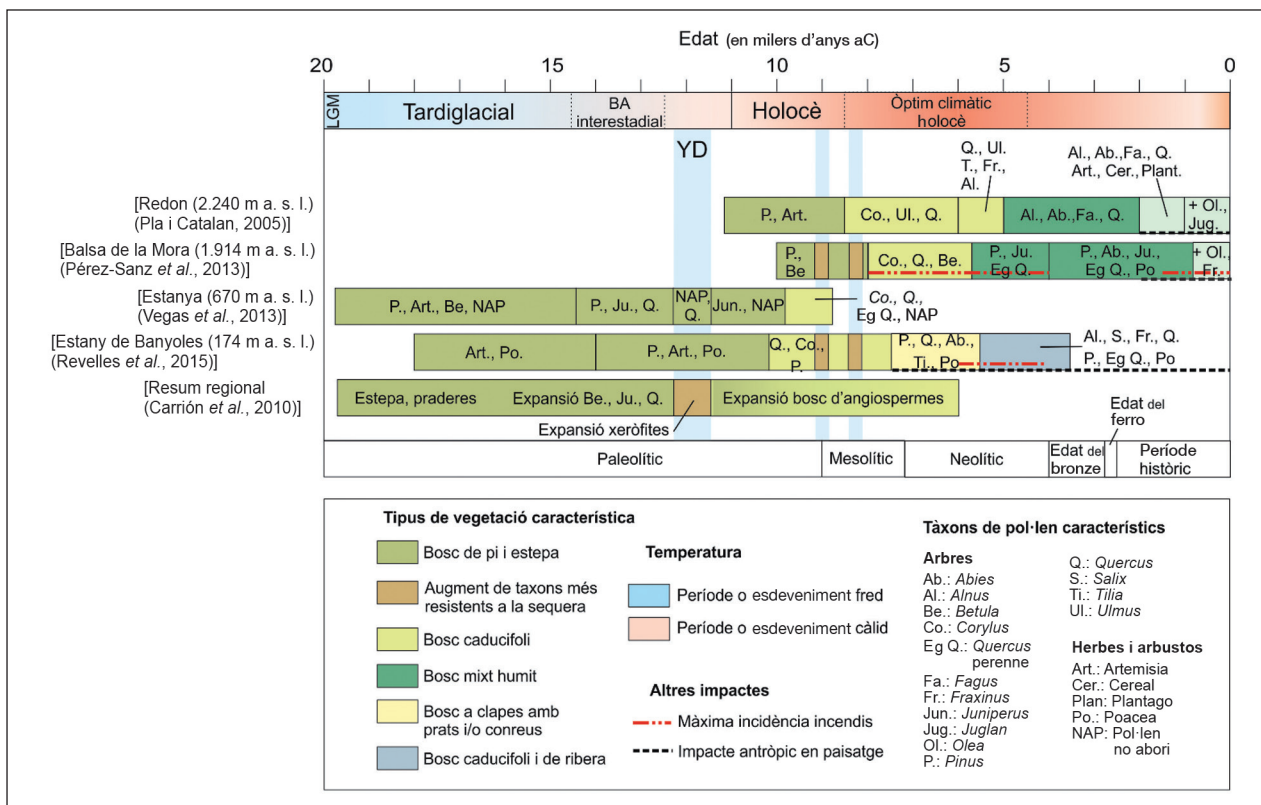


FIGURA 9.7. Principals canvis de vegetació durant els darrers 20.000 anys al nord-est peninsular deduïts a partir del registre pol·línic dels estanys Redon, Balsa de la Mora, Estanya i Banyoles.

cop més humit. Entre fa 9.000 i 5.000 anys, les temperatures estivals en alta muntanya podrien haver estat de 5 a 6°C superiors a les actuals, mentre que la temperatura marina superficial (SST) a la costa mediterrània era d'1 a 1,5°C més elevada.

Al llarg de la desglaciació, el límit altitudinal dels arbres va augmentar en alçada fins a arribar a cotes més elevades que les actuals en algunes zones del Pirineu durant l'HCO (Cunill *et al.*, 2012). Estudis pedoantracològics han demostrat que els arbres hi eren presents (*Pinus*, *Betula*) dels 2.400 als 2.600 m d'altitud (plans de Boldís-Montarenyo, 1.996-2.593 m s. m.; Cunill *et al.*, 2012). En la regió eurosiberiana i la ibèrica mediterrània, l'inici de l'Holocè (11.000 anys) es va caracteritzar per la presència de comunitats dominades pels *Quercus* i boscos d'angiospermes caducifolis en detriment de les zones de pinedes i estepes. De fet, durant el tardiglacial i l'inici de l'Holocè, tàxons com els *Pinus*, els *Juniperus* i les *Betula* i, a posteriori, els *Quercus*, es van estendre des del sud d'Europa cap a zones cada cop més boreals. Aquest procés regional fou interromput per alguns episodis freds i àrids, com, per exemple, el període de refredament conegut com a *Dryas* recent, fa 11.000-12.000 anys, en què les espècies xeròfites van repuntar a la zona mediterrània.

El registre de l'estany de Banyoles (174 m s. m.; Revelles *et al.*, 2015) és un bon exemple dels canvis que van patir els paisatges de l'Holocè (figura 9.7). Les condicions cada cop més càlides van comportar la dominància a cotes baixes de boscos d'arbres planifolis caducifolis (*Quercus*, *Corylus*) acompanyats de pinedes en zones més elevades. Els períodes puntuals de sequera i les temperatures més baixes registrats a la Península (fa 9.300-9.000 anys i 8.200 anys, respectivament) van tenir efectes moderats en la vegetació que circumdava l'estany, amb un lleuger increment de la presència de *Pinus*, *Betula* i d'escleròfil·les (*Olea-Phillyrea*).

En estanys d'alta muntanya (Redon, 2.240 m s. m.) aquest clima càlid i humit es manifesta amb un registre palinològic que indica la presència de *Corylus*, *Ulmus*, *Quercus* i *Pinus* (9.000-6.000 anys) que contrasta amb el predomini de les comunitats de *Pinus* (10.000-9.000 anys), prats d'*Artemisia* i d'herbàcies en períodes més freds.

Altres conseqüències de l'escalfament i l'augment de la biomassa boscosa van ser l'increment dels focs (8.000-4.000 anys), com ara els registrats a altres zones del Pirineu central (Balsa de la Mora, 1.914 m s. m.).

A partir dels 6.000 anys, la península Ibèrica va partir un període de refredament, però la presència de comunitats agrícoles a la zona de Banyoles (a partir dels 7.600-7.200 anys) dificulta la interpretació dels efectes del clima sobre la vegetació circumdant. En canvi, les zones d'alta muntanya, menys antropitzades, permeten un bon registre dels efectes de la variabilitat climàtica en èpoques més recents. Així, a l'estany Redon s'ha pogut constatar la davallada del bosc d'avellaner, el qual es va veure substituït per tàxons com *Alnus*, *Abies*, *Fraxinus* i *Tilia*, i, posteriorment, fa 5.000 anys, per *Fagus*, *Abies* i *Alnus*, juntament amb *Pinus*, els quals es corresponen a les espècies que actualment encara són dominants.

9.6.2. El darrer mil·lenni

Durant el darrer mil·lenni s'han produït canvis climàtics importants que han modulats profundament el paisatge. L'anomalia climàtica medieval (MCA, 900-1300 dC) va comportar condicions més càlides i seques a Catalunya, les quals haurien afavorit l'establiment de comunitats arbustives mediterrànies (*Rosmarinus* tipus, *Hedysarum* tipus, *Helianthemum*, *Ephedra*) a la regió de Montcortès (1.097 m s. m.), les quals actualment es troben per sota dels 800 m s. m. Diversos registres pol·línics del nord-est peninsular (Portlligat, Balsa de la Mora, Estanya) indiquen la presència de tàxons xeròfits i heliòfils (*Quercus suber*, *Juniperus* i cistàcies, entre d'altres), així com una reducció del bosc caducifoli mesòfit si ho comparem amb l'experimentada per espècies de fulla perenne durant el mateix període.

Amb l'arribada de la petita edat de gel (LIA, 1300-1850 dC), la comunitat arbustiva que envoltava Montcortès va desaparèixer i el bosc es va tornar a expandir a causa de les condicions més humides i fredes que s'hi experimentaven. En altres registres de muntanya mitjana i alta també es fa palesa l'ampliació del bosc caducifoli mesòfit, alhora que s'hi evidencia una intensificació de les pluges i de l'activitat al·luvial, juntament amb el màxim de glaçades enregistrades en arxius històrics. Des de finals del

LIA, les condicions han estat cada cop més càlides fins a l'època actual, amb l'excepció d'un lleuger refredament a finals del s. XIX i a principis del XX.

9.6.3. El canvi climàtic actual

Els nombrosos registres que permeten reconstruir la vegetació en el passat ajuden a comprendre els canvis futurs inevitables del paisatge a Catalunya. Amb la pujada de les temperatures prevista s'espera una elevació del límit altitudinal del bosc a les àrees d'alta muntanya i la substitució de zones de pineda i d'estepa per boscos caducifolis en les superfícies amb suficients recursos hídrics.

D'altra banda, a cotes més baixes l'accentuació de la sequera promourà l'expansió de la vegetació arbustiva, xeròfita i més ben adaptada a la nova situació, en detriment del bosc mesòfit. La magnitud de la transformació que pot patir el paisatge, però, és difícil de quantificar, ja que la velocitat a què s'està desenvolupant el canvi climàtic actual no és comparable amb la dels registres coneguts. A més a més, en la variabilitat climàtica que ens ha precedit durant els darrers mil·lennis, els períodes càlids mai han arribat a ser tan àrids com es preveu que seran en els pròxims decennis, de manera que tant la velocitat com la intensitat del canvi es convertiran en factors determinants per a les alteracions cap a noves comunitats, la incidència d'incendis o els fenòmens de migració d'espècies entre bioregions.

9.7. Impacte del canvi climàtic sobre els nostres ecosistemes terrestres previst per als pròxims decennis. Simulacions amb GOTILWA+

La modelització possibilita la visualització virtual de diferents escenaris de condicions climàtiques amb vista al futur. En el cas del model de processos de creixement dels boscos GOTILWA+ (<http://www.creaf.uab.cat/gotilwa>) és possible avaluar la resposta al canvi climàtic de diferents boscos de parcel·les de l'*Inventario Forestal Nacional* (IFN) prevista per al segle XXI. Les projeccions simulades de canvi climàtic que es descriuen en aquest apartat han estat obtingudes a partir del model de circulació general ECHAM4 i de l'escenari socioeconòmic A2, que projecta 850 ppm de CO₂ atmosfèric al 2100. En concret, a la figura 9.8.a es mostra la producció primària bruta (PPB) i la producció primària neta (PPN) per a un mateix es-

cenari durant quatre períodes diferents al llarg del segle XXI. S'hi observa un augment progressiu de la PPB al llarg del segle, el qual s'interpreta com l'efecte fertilitzant de l'increment progressiu del CO₂ atmosfèric i que es manifesta principalment als boscos del nord i nord-est de la Península. En canvi, la PPN mostra un patró contrari, amb una tendència generalitzada a la disminució. L'augment de la respiració autotròfica de manteniment juntament amb la pujada progressiva de les temperatures, pot conduir a l'exhauriment de carbohidrats de reserva i a una progressiva pèrdua de biomassa dels boscos. La pèrdua de biomassa aèria es veu reflectida a la figura 9.8.b, en què s'observa la correlació negativa entre l'increment dels estocs aeris de carboni i la temperatura, fet que fa previsible una forta afectació dels boscos de la Península.

La pujada de les temperatures i la disminució de les precipitacions previstes per als escenaris de canvi climàtic simulats també comporten una redistribució de l'aigua verda (evapotranspirada) i l'aigua blava (drenatge i escorrentia superficial) als diferents tipus de boscos que es mostren a la figura 9.8.c. D'una banda, es preveu un augment de l'evapotranspiració o de les aigües verdes, probablement a conseqüència de l'increment de la demanda evaporativa que acompanya la pujada de les temperatures. De l'altra, la disminució de la precipitació i l'augment de l'evapotranspiració disminueixen la magnitud d'aigües blaves que surten dels boscos.

Es preveu, per tant, una progressiva situació d'estrès hídric en augment per a la vegetació, però també per als sistemes aquàtics de les conques corresponents, els quals tendiran a rebre quantitats més petites d'aigua. La gestió forestal podria ajudar a mitigar el creixent estrès hídric dels boscos i la disminució de l'aigua blava. En aquest sentit, a la figura 9.8.d se simulen diferents itineraris de gestió forestal ORGEST (<http://ags.ctfc.cat/?p=649>) proposats per als *Pinus halepensis* pel Centre de la Propietat Forestal als boscos d'aquesta espècie del Montmell (Baix Penedès). S'han avaluat dues condicions, les quals es corresponen a dues profunditats de sòl i precipitació, i s'ha suggerit que, d'una banda, la gestió forestal pot disminuir la quantitat d'aigua verda, de manera que deixa més quantitat d'aigua blava sense gestionar que la del mateix bosc;

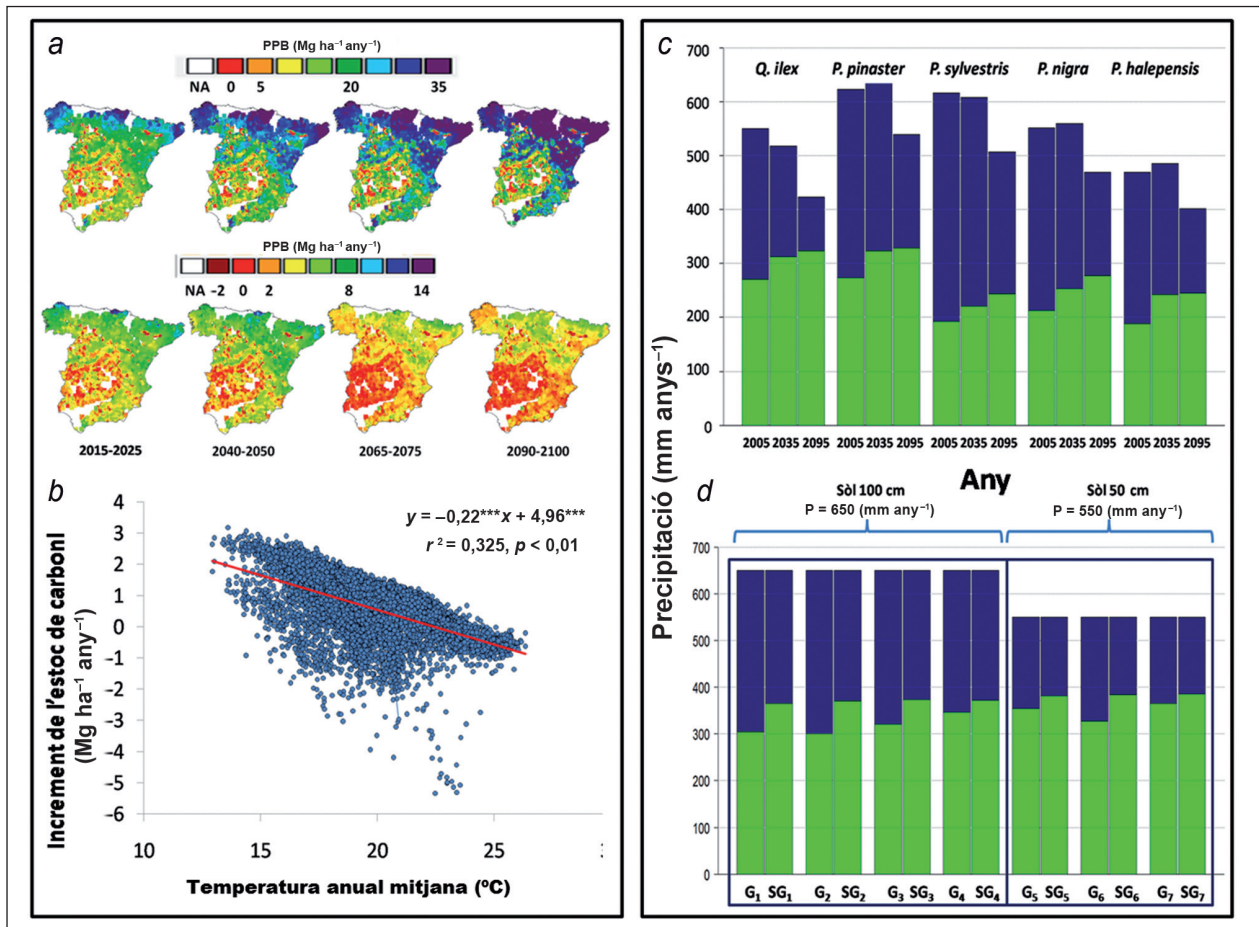


FIGURA 9.8. a) Resultats de producció dels boscos mono específics espanyols de la Península per a un escenari socioeconòmic A2 (850 ppm de CO_2 atmosfèric el 2100) i el model de circulació general l'ECHAM4. La profunditat de sòl simulada ha estat de 0,5 m i el nombre de parcel·les simulades de l'Inventari Forestal Nacional (IFN) és de 34.000. Es mostra la producció primària bruta (PPB) i la producció primària neta (PPN) del mateix escenari durant quatre períodes diferents al llarg del segle XXI. Els llocs on no es disposa de dades s'han deixat en blanc. b) Variació del carboni acumulat durant el període 2076-2100 en relació amb la temperatura anual mitjana del mateix període en una submostra de 10.328 parcel·les de l'IFN on no hi va haver mortalitat al bosc. c) Canvis en el repartiment de l'aigua precipitada en aigua blava (drenatge i escorrentia, en blau a la figura) i en aigua verda (evapotranspirada, en verd a la figura) durant el segle XXI. S'han simulat 500 parcel·les mono específiques de l'IFN escollides aleatòriament del territori peninsular espanyol on queden representades les cinc espècies de la figura. Es presenten valors per al 2005 i la projecció per al 2035 i 2095. L'escenari de canvi climàtic és l'escenari socioeconòmic A2 (850 ppm de CO_2 atmosfèric el 2100), i el model de circulació general l'ECHAM4. La profunditat de sòl simulada ha estat de 0,5 m. d) Simulacions amb GOTILWA+ dels efectes de la gestió forestal en els balanços hídrics d'un rodal de *Pinus halepensis* situat al Montmell. S'analitzen diferents itineraris de gestió dels models ORGEST proposats pel Centre de la Propietat Forestal per a aquesta espècie (G1, G2, G3, G4) per a una precipitació de 650 mm/any i una profunditat de sòl de 100 cm, i els models ORGEST (G5, G6, G7) per a una precipitació de 550 mm/any i una profunditat del sòl de 50 cm. Cadascun d'aquests itineraris es compara amb el cas corresponent SG (sense gestió). Com a c), també es mostren els canvis en el repartiment de l'aigua precipitada en aigua blava (drenatge i escorrentia, en blau a la figura) i aigua verda (evapotranspirada, en verd a la figura).

i de l'altra, que la disminució de la fondària del sòl i la precipitació es tradueixen en una quantitat més petita d'aigua blava, però no d'aigua verda, que en aquest cas és governada per la demanda evaporativa característica de la zona.

9.8. Retroalimentacions biològiques en el canvi climàtic

Els organismes vius i els ecosistemes no són passius dels canvis climàtics. Les mo-

dificacions que el canvi climàtic els ha generat en l'estructura i l'activitat tenen, alhora, efectes significatius, tant biogeoquímics com biofísics, que retroalimenten el canvi climàtic mateix.

Entre els processos biogeoquímics destaquen la fixació de carboni, i més concretament la funció dels ecosistemes com a embornals del CO_2 atmosfèric, i també el paper que tenen en les emissions de compostos orgànics volàtils. En el balanç

de carboni dels ecosistemes terrestres catalans intervenen molts processos complexos, els quals es troben sotmesos a moltes interaccions. Malgrat els progressos duts a terme durant els darrers anys, tancar aquest balanç en detall no és una tasca fàcil, i més encara quan en l'anàlisi intervenen escales de temps i d'espai contrastades, però també a causa de les incerteses causades per totes les condicions ambientals que interaccionen amb aquests processos i que no són totalment conegudes. Per exemple, no és clar que l'augment de CO₂ atmosfèric es tradueixi en una fixació més gran de carboni per les plantes, ja que altres factors com ara la sequera o el desequilibri nutricional determinen, en alguns casos, minves en la fixació. De manera similar, els COVB, compostos orgànics capaços de generar aerosols i nuclis de condensació de núvols, que, per contra, causen l'efecte d'hivernacle, allarguen la vida mitjana del CH₄ perquè consumeixen radicals hidroxils durant l'oxidació, alteren la calor de condensació i, com a conseqüència, afecten el clima d'una manera i amb una intensitat que encara hem de dilucidar, però que potencialment són ben significatives (Peñuelas *et al.*, 2013).

Pel que fa als efectes biofísics dels canvis en l'activitat i l'estructura de la vegetació produïts pel canvi climàtic, són especialment importants els que estan lligats a la proporció entre calor latent i calor sensible i els que estan relacionats amb l'albedo. Per exemple, els mateixos canvis fenològics en la presència de fulles que hem esmentat en aquest capítol podrien tenir uns efectes que no es consideraven, fins ara, com un segrest de diòxid de carboni i un consum d'aigua al sòl més destacats. A les zones humides, els boscos poden transpirar intensament i acumular molt de vapor, de manera que poden fomentar la formació de núvols que refresquen l'ambient i incrementen les pluges. En canvi, a les regions mediterrànies, durant els períodes de sequera estivals, tot i que els arbres reben molta radiació, no disposen d'aigua suficient per a generar aquest efecte, raó per la qual el clima d'aquestes àrees és encara més càlid. Aquest fenomen sembla haver tingut un paper significatiu en onades de calor recents, com la del 2003 (Peñuelas *et al.*, 2009). A més, la disminució de l'aigua del sòl també afecta el funcionament de la vegetació i, per tant, de l'ecosistema. De la mateixa manera,

la prolongació del període d'activitat dels arbres de fulla caduca a causa del canvi climàtic pot tenir efectes contradictoris, ja que es pot esperar tant la mitigació com l'amplificació d'aquest fenomen, i cap a on es decantarà la balança dependrà de la disponibilitat d'aigua i de les especificitats regionals, cosa que posarà en relleu la necessitat d'aprofundir en aquesta línia d'investigació amb estudis més quantitativus.

9.9. Conclusions

A Catalunya hi ha una gran quantitat d'evidències observacionals i experimentals de l'efecte que el canvi climàtic ja té en els organismes i ecosistemes terrestres.

Les evidències van des de canvis genètics i epigenètics fins a canvis en el conjunt del país, els quals es poden observar des dels satèl·lits, tot passant per canvis en el metabolisme dels organismes, la demografia de les poblacions vegetals i animals, la composició de les comunitats, i l'estructura i el funcionament dels ecosistemes.

Aquestes alteracions poden esdevenir més fortes i significatives si la combinació del canvi climàtic, les perturbacions associades (per exemple, inundacions, sequeres, onades de calor i incendis forestals) i els canvis en els altres components que formen part del canvi global (sobretot, els canvis d'ús del sòl, la contaminació i la sobreexplotació dels recursos) continuen com fins ara o s'accentuen.

Aquestes alteracions comprometen els serveis ambientals, productius i socials que els ecosistemes terrestres ens proporcionen.

Les polítiques de gestió ambiental i forestal haurien de tenir en compte tant les característiques pròpies dels nostres ecosistemes com les condicions climàtiques, ambientals i socials que s'estan projectant per als anys i decennis vinents.

9.10. Recomanacions

Des del punt de vista antròpic, els ecosistemes terrestres són sistemes proveïdors de múltiples béns i serveis: productius, ambientals i socials. Pel que fa a la funció productiva, subministren béns naturals renovables, com ara aliments, medicines, productes de fusta i d'altres (pastures, suro, pinyes, caça,

bolets, etc.). Entre les funcions ambientals i ecològiques destaquen els serveis ecosistèmics, com ara el manteniment de la biodiversitat, la regulació de la composició atmosfèrica i del clima, la regulació dels cicles biogeoquímics, la protecció del sòl contra l'erosió, la regulació hidrològica o l'emmagatzematge de carboni. Entre les funcions socials, les més rellevants són els usos recreatius, educatius i de lleure, les oportunitats per a la recerca, els valors tradicionals culturals i emocionals, així com el paisatge agradable, els quals donen peu a activitats econòmiques importants com ara el turisme i l'excursionisme. Entre aquestes funcions i serveis ecosistèmics, interessa especialment la que fa referència a l'emmagatzematge de carboni, a causa de les implicacions que té en tots aquests serveis, ja que es tracta de la base de la producció vegetal que els sosté i per les implicacions que té en el balanç de CO₂ atmosfèric, el qual ha estat gairebé confirmat com un dels orígens més importants del fenomen que aquí ens ocupa: el canvi climàtic.

En aquest capítol s'ha descrit que els canvis atmosfèrics i climàtics afecten d'una manera important el funcionament i l'estructura dels nostres ecosistemes terrestres, tant pels efectes directes com per mitjà de les interaccions que duen a terme. És important recordar que els canvis biològics descrits en la literatura durant els darrers decennis s'han produït amb un escalfament del planeta que només es troba un terç o fins i tot menys per davall del que va ser projectat per al segle que ara encetem. És prou clar que tots aquests canvis tindran un impacte sobre molts d'aquests béns i serveis i, per tant, afectaran també els sistemes socioeconòmics (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), però també és ben clar que l'efecte del canvi climàtic és difícil de destriar dels que impliquen els altres components del canvi global, com ara els canvis atmosfèrics o els canvis en els usos del sòl.

Per tal de conèixer i, així, poder gestionar aquests canvis d'una manera més eficient, és necessari dur a terme nous estudis experimentals que reproduïxin les condicions naturals i que hi incloguin casos de canvis extrems o sobtats, així com l'aprofitament dels avenços tecnològics; per exemple, aplicant-los als estudis del passat remot i proper i a la teledetecció. No cal dir, a més, que s'han

de buscar les sinergies pròpies de la multidisciplinarietat; els exemples de treballs que aquí hem presentat resumits pretenen seguir aquesta línia.

Els ecosistemes catalans presenten una extraordinària varietat en l'espai i en el temps, a més d'una important resiliència. L'heterogeneïtat multidimensional i la resiliència són el resultat de la coevolució amb els humans i les activitats que duen a terme. Els ecosistemes evolucionen constantment modificats pels focs, pels humans, per les eines de què disposen i pel bestiar, i, més recentment, a causa del canvi climàtic i el canvi global. La dinàmica dels nostres ecosistemes, gairebé tots seminaturals, es pot entendre com una sèrie de degradacions antropogèniques i de regeneracions subsegüents. De fet, tant la sobreexplotació com la protecció completa poden dur a estadis inferiors de l'atractiu escènic i de la utilitat econòmica dels ecosistemes terrestres. Les estratègies multiús per a la gestió i rehabilitació dels ecosistemes terrestres mediterranis requereixen un gran esforç educatiu, econòmic, de recerca i de governança per a permetre'ns continuar gaudint dels seus serveis i per a donar esperança de futur a ecosistemes terrestres negligits, com ara els matollars mediterranis en el marc dels canvis actuals de clima i usos del sòl.

En tot cas, la gestió dels ecosistemes terrestres en relació amb el canvi climàtic hauria de tenir en compte els punts següents:

- La gestió forestal ha d'incorporar el canvi de condicions ambientals que estem experimentant a l'hora de definir les intensitats d'intervenció i la freqüència. Per exemple, reduir les densitats de rebrots en boscos d'alta densitat ha estat demostrat com una mesura efectiva per a disminuir l'impacte de sequeres extremes.
- En els anys vinents, les polítiques de reforestació de zones pertorbades i la gestió de l'aforestació d'espais agrícoles abandonats haurien de tenir en compte els canvis que s'estan produint i les condicions que s'estan projectant amb vista al futur immediat. Hi destaca la disminució de la disponibilitat hídrica a conseqüència tant de la disminució de les precipitacions i/o de l'augment de l'evapotranspiració potencial com de l'increment de la demanda d'uns ecosistemes més fertilitzats i d'una població en augment.

- La gestió dels espais forestals i, en general, dels naturals ha d'incorporar l'escala de paisatge i la regional, i ha d'incloure una planificació a gran escala que tingui en compte la combinació de mosaics d'espais de tipus divers, així com l'ús múltiple i l'efecte de les pertorbacions; com ara, per exemple, els incendis forestals.
- La política de recerca i inventariat de recursos hauria de fer un esforç pel que fa a la quantificació del carboni a la biomassa subterrània i als sòls, a més de la relativa a la biomassa aèria, ja que aquestes dades són escasses i necessàries.
- Per a pal·liar el canvi climàtic per mitjà d'una captació més gran i una pèrdua més petita de CO₂, s'hauria d'actuar sobre la reforestació i l'aforestació, a més de perllongar la immobilització del carboni en els productes forestals i de protegir els sòls, així com considerar les alteracions que tot això provoca en el cicle de l'aigua.

Referències bibliogràfiques

- BARBETA, A.; OGAYA, R.; PEÑUELAS, J. (2013). «Dampening effects of long-term experimental drought on growth and mortality rates of a Holm oak forest». *Global Change Biology*, 19, p. 3133-3144.
- BARTRONS, M.; GRIMALT, J.; CATALAN, J. (2011). «Altitudinal distributions of BDE-209 and other polybromodiphenyl ethers in high mountain lakes». *Environmental Pollution*, 159, p. 1816-1822.
- CUNILL, R.; SORIANO, J. M.; BAL, M. C. [et al.] (2012). «Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: a pedoanthracological analysis». *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(4-5), p. 373-384.
- FARRÉ-ARMENGOL, G.; FILELLA, I.; LLUSIÀ, J. [et al.] (2014). «Changes in floral bouquets from compound-specific responses to increasing temperatures». *Global Change Biology*, 20, p. 3660-3669.
- GARGALLO-GARRIGA, A.; SARDANS, J.; PÉREZ-TRUJILLO, M. [et al.] (2014). «Opposite metabolic responses of shoots and roots to drought». *Scientific Reports*, 4, p. 6829.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de S. Solomon, D. Qin, M. Manning [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1>> [Consulta: 25 febrer 2016].
- (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de C. B. Field, V. R. Ramos, D. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>> [Consulta: 25 febrer 2016].
- KRÖEL-DULAY, G.; RANSIJN, J.; SCHMIDT, I. K. [et al.] (2015). «Increased sensitivity to climate change in disturbed ecosystems». *Nature Communications*, 6.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press.
- PALLAS, R.; RODÉS, À.; BRAUCHER, R. [et al.] (2006). «Late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence from 10Be exposure ages, south-central Pyrenees». *Quaternary Science Reviews*, 25(21-22), p. 2937-2963.
- PEÑUELAS, J.; RUTISHAUSER, T.; FILELLA, I. (2009). «Phenology feedbacks on climate change». *Science*, 324, p. 887-888.
- PEÑUELAS, J.; SARDANS, J.; ESTIARTE, M. [et al.] (2013). «Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere». *Global Change Biology*, 19, p. 2303-2338.
- PIAO, S.; TAN, J.; CHEN, A. [et al.] (2015). «Leaf onset in the northern hemisphere triggered by daytime temperature». *Nature Communications*, 6, p. 6911.
- REVELLES, J.; CHO, S.; IRIARTE, E. [et al.] (2015). «Mid-Holocene vegetation history and Neolithic land-use in the Lake Banyoles area (Girona, Spain)». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 435, p. 70-85.

- RICO, L.; OGAYA, R.; BARBETA, A. [et al.] (2014). «Changes in DNA methylation fingerprint of *Quercus ilex* trees in response to experimental field drought simulating projected climate change». *Plant Biology*, 16, p. 419-427.
- RIVAS-UBACH, A.; SARDANS, J.; PÉREZ-TRUJILLO, M. [et al.] (2012). «Strong relationship between elemental stoichiometry and metabolome in plants». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, p. 4181-4186.
- SARDANS, J.; RIVAS-UBACH, A.; PEÑUELAS, J. (2012). «The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives». *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 14, p. 33-47.
- VEGAS-VILARRÚBIA, T.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; MORELLÓN, M. [et al.] (2013). «Diatom and vegetation responses to Late Glacial and Early Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain)». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392, p. 335-349.
- VERGER, A.; BARET, F.; WEISS, M. (2014). «Near real time vegetation monitoring at global scale». *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, p. 3473-3481.

10 Ecosistemes aquàtics continentals

Autors

Sergi Sabater

Marisol Felip

Margarita Menéndez

Vicenç Acuña

Emili García-Berthou

Isabel Muñoz

Ramon J. Batalla

Stéphanie Gascón

Xavier Quintana

Carles Borrego

Rafael Marcé

Francesc Sabater

Andrea Butturini

Eugènia Martí

Sergi Sabater és doctor en biologia per la Universitat de Barcelona (1987), catedràtic d'ecologia a la Universitat de Girona i investigador sènior adscrit a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA). Desenvolupa la recerca en l'àmbit de l'ecologia dels sistemes fluvials, amb un interès especial en l'impacte del canvi global en la biodiversitat algal i bacteriana i en el funcionament dels ecosistemes com a resposta a les alteracions hidrològiques i als contaminants orgànics i nutrients.

Vicenç Acuña és investigador a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua, en la línia d'ecosistemes fluvials, des del 2009, i expert en el funcionament dels ecosistemes fluvials, en els efectes de la intermitència del flux d'aigua i en la interacció entre l'economia i l'ecologia.

Ramon J. Batalla és geomorfòleg, doctor en geografia per la Universitat de Barcelona (1993) i professor de geografia física a la Universitat de Lleida des del 1996. És investigador sènior adscrit a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua des del 2011, dirigeix el Grup de Recerca de Dinàmica Fluvial SGR-645 i treballa en el camp de l'anàlisi de processos biofísics en rius a Catalunya, especialment en el transport i el balanç de sediments, en les interaccions hidràuliques i sedimentàries, i en la influència sobre les comunitats d'invertebrats bentònics. També investiga els efec-

tes del canvi global en els recursos hídrics i la dinàmica dels rius, i estudia el comportament hidrosedimentari dels rius regulats, especialment a la conca de l'Ebre, on lidera projectes de recerca des del 2002.

Carles Borrego és ecòleg microbià especialitzat en ecologia microbiana d'ecosistemes aquàtics continentals, doctor en biologia (1996), professor titular de microbiologia de la Universitat de Girona des del 2001 i investigador sènior de l'Institut Català de Recerca de l'Aigua des del 2011, on lidera el grup de Qualitat i Diversitat Microbiana. Ha desenvolupat l'activitat investigadora en l'àmbit dels llacs i les llacunes estratificades, amb especial atenció a la diversitat i l'activitat microbiana en relació amb els cicles biogeoquímics. Actualment, les línies d'investigació se centren en la diversitat i la dinàmica del resistoma microbià com a resposta a la contaminació dels ecosistemes aquàtics per antibiòtics.

Andrea Butturini és expert en hidrologia dels sistemes fluvials intermitents i en biogeoquímica del carboni i el nitrogen. Actualment, és professor agregat al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona.

Marisol Felip és professora agregada al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona, investigadora del Biogeodynamics and Biodiversity

Research Group (CREAF-CSIC, UB) i membre del Grup d'Ecologia dels Canvis Ambientals (GECA), reconegut com a grup de recerca consolidat per la Direcció General d'Investigació de la Generalitat de Catalunya des del 1993. És experta en ecologia del plàncton microbià dels llacs d'alta muntanya i ha centrat la tasca investigadora en els Pirineus i els Alps del Tirol. Actualment, mitjançant l'aplicació de tècniques d'anàlisi individual, estudia la diversitat funcional de les algues per tal d'entendre la importància de la diversificació d'estratègies tròfiques com a motor d'evolució del fitoplàncton.

Emili García-Berthou és doctor en biologia i catedràtic d'ecologia a l'Institut d'Ecologia Aquàtica de la Universitat de Girona. Investiga sobre ecologia de peixos continentals en rius, embassaments i zones humides, especialment d'espècies invasores, i n'examina la biologia, l'ús de l'hàbitat, l'impacte ecològic i la interacció amb altres alteracions antròpiques, com ara la regulació hidrològica i la contaminació. Ha dirigit diversos projectes de recerca en ecologia de peixos, majorment finançats pel Ministeri de Ciència i Innovació i l'Agència Catalana de l'Aigua, ha dirigit deu tesis doctorals ja defensades i pertany al consell editorial de les revistes *Biological Invasions*, *Ecosphere*, *Neobiota* i *Neotropical Ichthyology*.

Stéphanie Gascón és professora titular d'ecologia de la Universitat de Girona i especialista en ecologia de llacunes i aigües somes mediterrànies, principalment de llacunes i aiguamolls temporanis. Estudia la influència de les variables ambientals en les comunitats aquàtiques i, especialment, els aspectes determinants per a la biodiversitat taxonòmica, però també la funcional. És autora d'una cinquantena de publicacions científiques i ha participat en diversos projectes de recerca tant nacionals com internacionals.

Rafael Marcé va obtenir el doctorat al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona (2007), on es va formar com a especialista en ecologia d'embassaments. El 2009 es va incorporar a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua per tal de participar en les línies de modelització d'ecosistemes i conques i de sistemes lacustres i embassaments. L'activitat de recerca inclou l'ecologia d'embassaments, però també la modelització de

processos ecològics i biogeoquímics a escala de conca, el cicle del carboni en els ecosistemes aquàtics continentals, la dinàmica dels contaminants emergents a les xarxes fluvials, i la detecció dels impactes dels canvis globals en els ecosistemes aquàtics a escales regionals.

Eugènia Martí és doctora en ciències biològiques per la Universitat de Barcelona (1995) i, des del 2006, científica titular del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) al Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB), en el qual treballa dins del grup de recerca Ecologia Integrativa d'Aigües Continentals. Centra la recerca en l'estudi dels ecosistemes fluvials i, concretament, està especialitzada a caracteritzar els processos biogeoquímics associats a la dinàmica del nitrogen, el fòsfor i el carboni, i a entendre els mecanismes i els factors que els regulen. També té interès a avaluar els efectes del canvi global en aquests processos i, en particular, els canvis derivats de l'activitat urbana.

Margarita Menéndez és doctora en biologia per la Universitat de Barcelona (1990) i, des del 2005, professora agregada en el marc del Pla Serra Húnter al Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona. És membre del grup de recerca consolidat FORESTREAM (Forest and Stream Ecological Links: Watershed Management and Restoration), ha participat en diversos projectes tant d'àmbit nacional com europeu, i enfoca la recerca en el camp dels processos ecològics als ecosistemes aquàtics, com ara la descomposició, la producció i la restauració ecològica als aiguamolls.

Isabel Muñoz és professora titular del Departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona i orienta la recerca en l'àmbit de l'ecologia fluvial, especialment de rius mediterranis, per mitjà de l'ecologia dels invertebrats i l'estudi de la resposta de l'ecosistema als canvis globals. Actualment, treballa en la resposta de les relacions tròfiques de la comunitat davant de diferents perturbacions (com ara els canvis hidrològics o la contaminació química). Aquesta recerca és conseqüència de la participació i la direcció de diversos projectes científics d'àmbit nacional i europeu, i també de projectes d'un caràcter més aplicat. És autora de més de setanta articles i capítols de llibres, i editora de la revista indexada *Limnetica*.

Xavier Quintana és professor titular d'ecologia de la Universitat de Girona i director de la càtedra d'ecosistemes litorals mediterranis de la mateixa universitat. És especialista en ecologia de llacunes i aigües somes en ambients mediterranis, principalment de llacunes i aiguamolls costaners, en els quals ha estudiat la influència de les variables ambientals en la composició d'espècies i les interaccions tròfiques que determinen l'estructura de la comunitat aquàtica. També ha dirigit diversos projectes LIFE de restauració en sistemes aquàtics costaners.

Francesc Sabater és doctor en biologia per la Universitat de Barcelona (1987), professor titular del Departament d'Ecologia de la mateixa universitat i membre investigador del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF). És director del grup de recerca consolidat FORESTREAM (2014-2017), reconegut per la Direcció General d'Investigació de la Generalitat de Catalunya, i ha orientat la recerca en l'ecologia i la biogeoquímica fluvial, especialment de rius i riberes mediterranis, i en la biodiversitat dels sistemes hiporreics.

Sumari

Síntesi	241
10.1. Introducció	242
10.2. Efectes del canvi climàtic en la dinàmica hídrica i el comportament biogeoquímic dels sistemes	242
10.2.1. Efectes de les sequeres	242
10.2.2. Efectes de les crescudes.....	244
10.3. Efectes del canvi climàtic en la biodiversitat.....	244
10.3.1. Canvis en el cicle vital i la distribució de les espècies	244
10.3.2. Canvis en les interaccions i les xarxes tròfiques.....	245
10.3.3. Afavoriment de les espècies invasores	246
10.4. Efectes del canvi climàtic en el funcionament dels ecosistemes	246
10.4.1. Impactes en el metabolisme	246
10.4.2. Efectes en la dinàmica dels nutrients.....	247
10.4.3. Efectes en la descomposició de la matèria orgànica.....	248
10.5. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes fluvials.....	248
10.6. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes lacustres	250
10.6.1. Sistemes lacustres d'alta muntanya.....	250
10.6.2. Sistemes lacustres càrstics	251
10.6.3. Embassaments	252
10.7. Sospites i evidències del canvi climàtic a les llacunes i les aigües temporànies	254
10.7.1. Llacunes temporànies	254
10.7.2. Llacunes costaneres	255
10.8. Possibles sinergies del canvi climàtic amb altres impactes antròpics	256
10.9. Conclusions	258
10.10. Recomanacions	258
Referències bibliogràfiques	259

Síntesi

Els sistemes aquàtics continentals inclouen rius, estanys (o llacs), llacunes (o estanyols) i embassaments com a masses d'aigua superficials. Aquests sistemes recullen tant les influències climàtiques com les que són fruit de l'activitat humana que es desenvolupa a la conca, de les quals les dinàmiques hidrològica, sedimentària, biogeoquímica i biològica són receptors directes. El canvi climàtic afecta la quantitat i la freqüència de les pluges i l'evapotranspiració que s'efectua a la conca, amb efectes directes en la magnitud i la freqüència dels patrons hidrològics. S'estima que el canvi climàtic pot ser el detonant de l'augment de la freqüència d'esdeveniments extrems i transitoris (com ara les sequeres i les avingudes) a les regions amb clima mediterrani, i de l'augment de la raresa de les condicions hidrològiques basals: els sistemes funcionaran cada vegada més en règim episòdic, mentre que els canvis progressius i estacionals seran més difusos. L'increment anòmal de la temperatura pot ser la causa de la disminució de la coberta del gel en els estanys pirinencs, de l'avançament i la prolongació del període d'estratificació de les masses d'aigua lacustres, i de l'increment de la temperatura de l'aigua fluvial, amb implicacions biogeoquímiques i per a la biodiversitat.

L'augment de la freqüència d'aquests episodis extrems té implicacions múltiples per als ecosistemes. D'una banda, les crescudes afavoreixen el pas ràpid de l'aigua i dels materials, cosa que comporta pics puntuals de més productivitat als ecosistemes receptors (com ara els estanys i els embassaments, les zones al·luvials i deltaïques i les zones costaneres); de l'altra, les sequeres fragmenten el continu fluvial o bé disminueixen dràsticament la durada del període d'inundació de les masses estagnants temporànies. Durant els períodes de cabal baix, que es preveu que seran més extensos a conseqüència del canvi climàtic, el temps de residència de l'aigua al sistema s'allargarà considerablement. Això té implicacions biogeoquímiques molt rellevants, amb la prevalença

de processos anaeròbics que produeixen gasos amb efecte d'hivernacle, com ara l'òxid nítrós, fruit de la desnitrificació, o el metà. També s'espera que s'afavoreixi la respiració de la matèria orgànica respecte de la producció de nova biomassa, fet que entenem com un afavoriment progressiu de l'heterotròfia.

La biodiversitat dels sistemes aquàtics continentals pot ser afectada pel canvi climàtic. Els ecosistemes aquàtics mediterranis presenten una diversitat elevada de fauna i flora, i per bé que la biota s'ha adaptat als canvis hidrològics extrems, l'increment d'aquests pot posar-la al límit de la capacitat de resiliència. Això pot empitjorar les condicions vitals dels organismes i, a mitjà termini, deixar nínxols buits i exposats a la invasió per espècies no natives. En pot resultar l'homogeneïtzació de les comunitats i la disminució del nombre d'espècies endèmiques, ara per ara molt més abundants que en moltes altres regions climàtiques.

L'acció humana directa pot tenir un efecte sinèrgic en les conseqüències potencials del canvi climàtic. La capacitat de retenció de nutrients dels rius (el procés d'autodepuració) disminueix quan se n'incrementa la concentració, ja que el sistema se sobreesatura de nutrients. Les entrades contínues procedents de les depuradores d'aigües residuals contribueixen a un excés de nutrients, fet que augmenta en condicions de cabal baix. La derivació i la regulació (per mitjà de canals, preses i embassaments), o el confinament de les masses d'aigua, interfereixen en les dinàmiques hidrològiques i sedimentàries dels ecosistemes respectius, compliquen la interpretació de l'efecte del canvi climàtic i, fins i tot, posen en segon pla l'efecte que el canvi climàtic exerceix sobre aquests ecosistemes. Es tracta de l'anomenat *canvi global*, el qual inclou tant els efectes del canvi climàtic com les alteracions que l'home realitza a escales temporals i espacials diferents.

Paraules clau

canvi climàtic, canvi global, biodiversitat, conservació, gestió, ecosistemes aquàtics

10.1. Introducció

Els ecosistemes aquàtics continentals són especialment sensibles a canvis ambientals de tota mena, els quals n'afecten la biodiversitat i el funcionament. Aquests ecosistemes responen molt ràpidament a les variacions en les precipitacions i les temperatures, atès que són els receptors de l'aigua que circula per la conca i de tot el que hi passa. Així doncs, els canvis en el clima que comporten variacions en la quantitat i/o la intensitat de les precipitacions, i increments en les temperatures mitjana i màxima, els quals incideixen en l'evapotranspiració a la conca, afecten directament el règim hidrològic dels rius, els estanys i les llacunes del territori. En aquesta equació no es pot oblidar que l'aigua és un element econòmic de primer ordre, cosa que sotmet aquests sistemes a múltiples pressions humanes que incideixen directament en la qualitat de l'hàbitat, en la qualitat de les aigües i en la biota que hi viu. El funcionament d'aquests sistemes aquàtics depèn, doncs, de tot el que passa a la conca, on conflueixen els canvis climàtics i els canvis d'usos del sòl fruit de les activitats humanes. Per tant, els ecosistemes aquàtics solen ser un «termòmetre» molt sensible que detecta les influències del canvi climàtic i global que afecten la biodiversitat i la salut dels nostres ecosistemes (ACA, 2009).

10.2. Efectes del canvi climàtic en la dinàmica hídrica i el comportament biogeoquímic dels sistemes

S'estima que la modificació climàtica pot ser el detonant de dos canvis dràstics en la variabilitat hídrica de les masses d'aigua superficials en les regions mediterrànies: un increment en la gravetat de les sequeres i, paral·lelament, un increment en la freqüència de les crescudes. Per tant, els esdeveniments extrems i transitoris augmenten, i les condicions d'estabilitat hidrològica estacional perden prevalença. Els sistemes funcionen cada vegada més en un règim en el qual els períodes discrets i discontinus s'imposen sobre els canvis progressius i estacionals.

L'increment de la severitat i la freqüència de les sequeres s'ha detectat, en els últims cinc decennis, a tota la península Ibèrica (i al sud d'Europa en general), i s'atribueix a l'increment de la demanda evaporativa atmosfèrica com a resposta a l'incre-

ment de les temperatures (Vicente-Serrano *et al.*, 2014). Es tracta d'un procés clarament estacional i molt rellevant durant l'estiu, quan l'evapotranspiració es dispara. A més a més, la gravetat de l'eixutesa es pot agreujar per la intensificació del consum d'aigua per a usos humans.

L'increment de la freqüència de les crescudes és més subtil. D'acord amb l'anàlisi de Barreda-Escoda *et al.* (2015), a Catalunya els esdeveniments més catastròfics (els desbordaments amb destruccions completes d'infraestructures pròximes a les lleres fluvials) no presenten cap tendència significativa. La freqüència de crescudes extraordinàries (els desbordaments amb destruccions puntuals), en canvi, tendeix a incrementar des del 1850. Hi ha una tendència a l'augment de les crescudes extraordinàries a final d'estiu i a començament de tardor, i també s'ha detectat un increment de la freqüència i la magnitud (el pic del cabal) de les crescudes de tardor que coincideix amb els períodes d'activitat solar alta. No obstant això, aquests increments no són atribuïbles, exclusivament, a cap alteració del règim de precipitacions, ja que també s'han detectat, molt especialment, en àrees força urbanitzades i extenses, on les lleres han estat canalitzades o, fins i tot, cobertes, i on l'aigua circula ràpidament sense oportunitat d'infiltrar-se en el subsòl i el freàtic.

10.2.1. Efectes de les sequeres

La sequera és un procés que incideix d'una manera important en el funcionament ecològic i biogeoquímic dels ecosistemes aquàtics. Des de la perspectiva hidrològica, la sequera causa la ruptura del continu fluvial i dona lloc a un conjunt de cossos d'aigua efímers i aïllats, o només connectats subsuperficialment. El temps de residència de l'aigua al sistema s'allarga considerablement. És a dir, un sistema hidrogràfic continu i unidireccional es converteix en un mosaic fragmentat d'illes d'aigua efímeres i desconnectades. Aquest procés es pot anomenar *lenticificació*, i és particularment patent a Catalunya, atès que molts dels nostres rius són ocupats per una xarxa molt densa de rescloses. Durant els períodes de sequera, aquestes rescloses, juntament amb els petits tolls aïllats de les lleres seques, acumulen la major part de l'aigua i l'activitat biològica de les xarxes fluvials. En termes generals, s'espera que el procés de lenti-

ficació provocat per la disminució dels cabals faci augmentar el temps de residència pràcticament a tots els cursos fluvials de Catalunya. Una anàlisi preliminar del canvi de cabals als rius catalans, tenint en compte els canvis esperats segons el darrer informe del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) per a un escenari de 2 °C d'augment, implicaria un increment del temps de residència de l'aigua d'un 13 % (figura 10.1).

Els canvis biogeoquímics associats a aquest increment del temps de residència de l'aigua relacionat amb les sequeres són múltiples. L'acumulació de matèria orgànica i l'increment de la temperatura afavoreixen els processos heterotròfics (és a dir, la utilització de la matèria orgànica com a font d'energia), que s'associen a un consum d'oxigen que redueix la disponibilitat d'oxigen en aquests ecosistemes. Aquestes condicions es magnifiquen a causa de la disminució de la solubilitat dels gasos que es produeix amb l'increment de la temperatura. El dèficit d'oxigen afavoreix processos anaeròbics com ara la desnitrificació, amb l'eliminació de nitrat i la formació de gasos parcialment reduïts com els òxids de nitrogen i el nitrogen molecular; la reducció de sulfat, amb l'aparició de sulfhídric, i fins i tot processos d'anaerobiosi extrema, com ara la meta-

nogènesi, que allibera metà, un gas amb un efecte d'hivernacle potent. Paral·lelament, els soluts reduïts com l'amoni i el sulfhídric n'incrementen la concentració ateses les condicions d'anòxia. Aquests processos anaeròbics poden produir l'acidificació de rius i estanys en aigües poc mineralitzades. L'acumulació de la matèria orgànica en els ecosistemes que s'assequen és força habitual. D'una banda, es produeix un increment gradual del contingut de substàncies orgàniques dissoltes procedent dels lixiviats dels detritus orgànics que s'acumulen a les lleres fluvials i que no es transporten aigües avall. De l'altra, l'estrès hídric estiuenc provoca una caiguda prematura de la fullaraca en la vegetació de ribera. En rius intermitents de capçalera, amb cobertura arbòria ben desenvolupada a la zona de ribera, es poden acumular fins a 300-800 g/m² de fullaraca al llarg de l'estiu. L'acumulació i la lixiviació posterior d'aquesta quantitat ingent de substàncies orgàniques també condicionen altres processos biogeoquímics importants com ara les variacions en l'alcalinitat, el pH, i el règim lumínic de la columna d'aigua. Precisament, les substàncies húmiques absorbeixen amb eficàcia la radiació solar i, d'aquesta manera, condicionen l'activitat fotosintètica. Si la llum i els nutrients no són limitants quan la temperatura és elevada i el cabal és

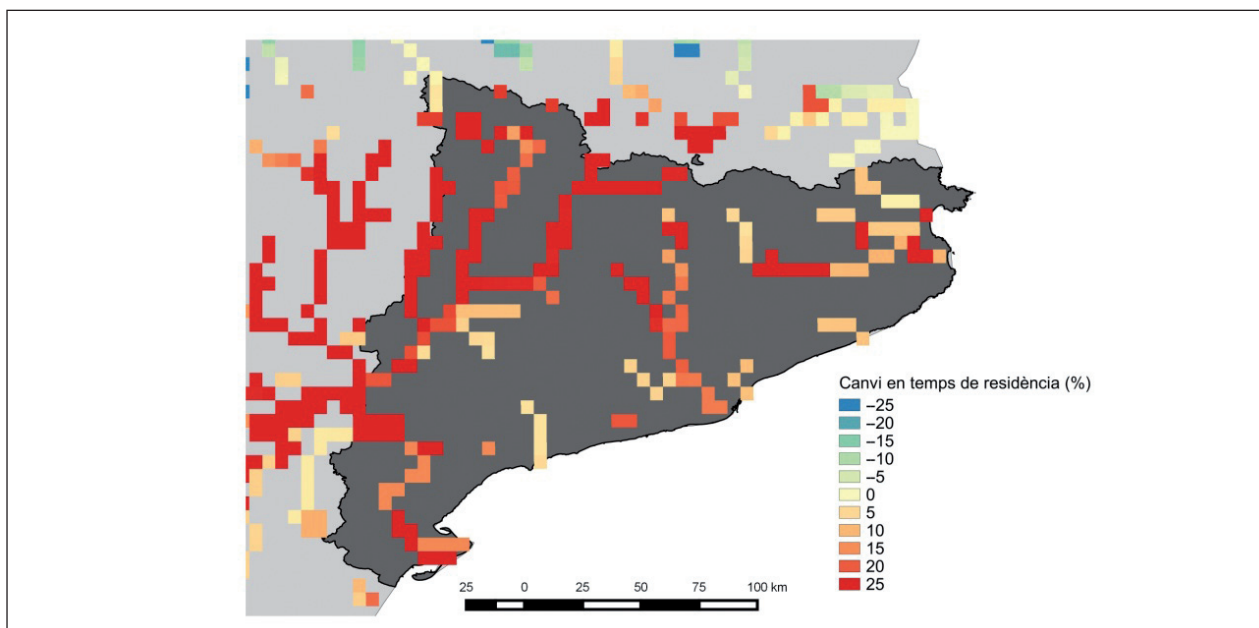


FIGURA 10.1. Canvi percentual en el temps de residència de l'aigua a la xarxa fluvial catalana considerant els canvis en l'escorrentia superficial per a un horitzó d'augment de 2 °C en la temperatura mitjana del planeta. L'anàlisi està feta a una escala d'1/16 de grau, per la qual cosa els rius de capçalera no hi són representats.

Font: R. Marcé.

molt baix, aleshores l'increment de la biomassa de productors primaris augmenta sensiblement l'acumulació de la matèria orgànica al riu.

Aquests canvis biogeoquímics es poden agreujar a causa d'aportacions d'origen antropogènic. Per exemple, a la Tordera, durant l'estiu, gairebé tota l'aigua circulant ha passat abans per una depuradora o un efluent industrial. En un context de sequera persistent mitigada únicament pels efluents de les depuradores, les aportacions de contaminants orgànics poden condicionar la capacitat autodepurativa del sistema aigües avall, la reactivitat i la fotodegradació de la matèria orgànica, i l'aparició i la persistència de metabòlits perjudicials per a la biota aquàtica i per als humans. L'aparició de grans poblacions estables de macròfits a rius regulats com el Segre i l'Ebre també és un efecte clar d'aquestes alteracions biogeoquímiques i del règim de cabals.

L'increment de la salinitat de les aigües continentals també es pot agreujar amb les sequeres. Les aportacions antropogèniques en molts rius es caracteritzen per les concentracions altes de clorurs, que poden esdevenir elevades a cabals baixos. Als sistemes deltaics, l'extensió temporal de les condicions de sequera i l'increment previsible del nivell del mar pot aguditzar la salinitat dels aqüífers i amenaçar la biota i la qualitat del recurs hídic.

10.2.2. Efectes de les crescudes

Les crescudes tensen el funcionament dels ecosistemes fluvials en un sentit contrari al de les sequeres. Durant una crescuda, els sistemes esdevenen mers conductes d'aigua i de materials. Un increment de la freqüència d'aquests esdeveniments pot augmentar puntualment les concentracions de moltes de les substàncies dissoltes, com ara el carboni orgànic dissolt i els nitrats, que l'ecosistema fluvial mateix amb prou feines pot retenir i processar. Precisament, la productivitat dels ecosistemes aquàtics receptors (els estanys i els embassaments, les zones al·luvials i deltaïques i les zones costaneres) és condicionada per aquestes addicions de matèria i energia. Les crescudes mobilitzen el substrat, erosionen la llera i transporten sediments. Un increment d'aquests successos extrems pot afavorir la incisió del riu i la desconnexió progressiva de la llera principal dels

braços secundaris i de la plana d'inundació. Els canvis en els hàbitats fluvials (la pèrdua d'heterogeneïtat) i la relació de les aigües superficials i subterrànies (el sobredrenatge d'aqüífers lligat a la dinàmica geomorfològica incisiva) també es preveu que siguin remarcables. A les àrees urbanitzades, les crescudes fàcilment col·lapsen les xarxes de sanejament i el funcionament de les depuradores, de manera que afavoreixen la pràctica del *bypass* i l'abocament massiu resultant d'aigües residuals sense tractament previ.

10.3. Efectes del canvi climàtic en la biodiversitat

Els ecosistemes aquàtics mediterranis tenen una fauna i una flora molt diversa, més rica en endèmiques que moltes altres regions climàtiques. La biota es caracteritza per ser molt resilient, amb prou capacitat per a retornar a les condicions prèvies a les pertorbacions. Moltes espècies són euritermes i, per tant, són menys vulnerables a l'augment de la temperatura. Pertorbacions com ara els canvis hidrològics extrems (com, per exemple, les sequeres i les riuades), que a la vegada impliquen canvis en l'hàbitat, poden desplaçar o eliminar espècies. Això pot deixar nínxols buits i exposats a la invasió per espècies no natives, la qual cosa comporta l'homogeneïtzació de les comunitats i la disminució del nombre d'espècies endèmiques.

10.3.1. Canvis en el cicle vital i la distribució de les espècies

Un augment de la temperatura de l'aigua té com a conseqüència immediata un augment de la respiració dels organismes en detriment de l'acumulació de biomassa. En el cas dels insectes aquàtics, a més, la temperatura marca el moment de la metamorfosi. En larves del tricòpter *Sericostoma personatum* s'ha observat experimentalment que la metamorfosi s'avança i el temps de desenvolupament es redueix amb l'augment de la temperatura; en resulten individus adults més petits i amb menys potencial d'èxit reproductiu.

La temperatura també determina el moment de l'eclosió dels ous o la fi del període de diapausa durant l'hivern. El cicle de vida de l'efímera *Ephoron virgo* a la part baixa de l'Ebre ha canviat entre 1987 i 2005, i els canvis probablement estan

relacionats amb l'augment de la temperatura a la zona. L'eclosió i el desenvolupament dels ous s'ha avançat pràcticament un mes; l'emergència dels adults comença tres setmanes abans i la proporció de femelles és més alta.

Molts dels organismes aquàtics dels rius mediterranis tenen temps de generació curts (menys d'un any) i diverses generacions l'any, fet que comporta que sobrevisquin a l'eixutesa de l'estiu i que com a mínim una generació quedi garantida abans que arribi una nova sequera. Això és especialment rellevant per als grups que tenen una capacitat limitada de migració, com ara els efemeròpters, els plecòpters i els tricòpters. Per contra, les espècies de mida més gran, cycle de vida llarg i més requeriments energètics seran menys resistents a aquests canvis.

L'evidència que les sequeres estivals no afecten la biodiversitat de la primavera següent demostra la rapidesa de la capacitat de recolonització d'aquests ecosistemes. Ara bé, sequeres intenses i més freqüents que no garantissin un flux poblacional mínim (especialment durant la primavera) implicarien canvis en l'abundància i la composició de les comunitats biològiques. La major part dels plecòpters, els efemeròpters i els tricòpters necessiten un règim de cabal més regular, i en el cas dels peixos, les sequeres limiten la recuperació de les poblacions durant el període humit, especialment en espècies com la bagra (*Squalius laietanus*), que necessita un hàbitat amb més volum d'aigua.

Algunes espècies han experimentat canvis en la distribució geogràfica que es poden relacionar fàcilment amb les variacions en la temperatura. L'odonat nord-africà *Trithemis annulata* ha colonitzat la península Ibèrica fins a França i Còrsega en els darrers quinze anys. La distribució d'espècies d'aigües fredes, com ara el peix *Salmo trutta*, l'efemeròpter *Baetis alpinus* o alguns plecòpters, es podria reduir per efecte de l'augment de la temperatura especialment en el Prelitoral i el Prepirineu, i altres espècies pròpies d'aigües temperades o càlides, com ara el barb (*Barbus* spp.), la bagra (*Squalius laietanus*) o altres ciprínids autòctons, es podrien expandir a altres zones ara massa fredes.

10.3.2. Canvis en les interaccions i les xarxes tròfiques

La intermitència del cabal determina canvis en la xarxa tròfica i, per tant, en l'alimentació d'alguns peixos. Comparant rius temporals i permanents dins d'una mateixa conca, la riera de Fuirosos i el tram principal de la Tordera, respectivament, s'ha observat que el barb de muntanya (*Barbus meridionalis*) i la bagra mengen menys quantitat d'aliment i el seleccionen menys en l'afluent temporal. La disponibilitat més petita de recursos per la intermitència del cabal és la causa d'una condició fisiològica més dolenta, fet que comporta que les gònades esdevinguin més petites i en condiciona la capacitat reproductiva (Mas-Martí *et al.*, 2010). Aquests peixos es troben a la part més alta de la xarxa tròfica, de manera que aquests canvis poden significar alteracions a tots els nivells de la xarxa.

Atès que la interacció entre el riu i la vegetació de ribera és molt estreta als rius poc cabalosos o intermitents, els canvis esmentats en el cycle de vida associats a l'augment de la temperatura determinen canvis temporals en la disponibilitat de preses per a alguns consumidors terrestres, amb conseqüències de desacoblament entre les xarxes tròfiques aquàtica i terrestre.

Les temperatures més altes també afavoreixen la colonització microbiana de les fulles i dels altres materials orgànics, que s'enriqueixen de nutrients, proteïnes i lípids, fet que en facilita l'assimilació als consumidors i compensa, així, les possibles pèrdues energètiques causades per l'increment de la respiració. A més, la lenticificació afavoreix la producció d'algues, especialment quan hi ha més disponibilitat de llum (a final d'hivern, quan encara no han sortit les fulles dels arbres de ribera, o bé a final d'estiu, quan hi ha més hores de llum i la pèrdua de fulles ja ha començat). Aquest recurs també esdevé part de les dietes de molts insectes, que són majorment detritívors, i d'alguns depredadors. Si els cabals baixos persisteixen més temps, aquesta situació podria modificar algunes de les interaccions tròfiques que imperen actualment. No obstant això, els efectes del canvi de dieta en el desenvolupament i en la reproducció dels consumidors són encara poc coneguts.

10.3.3. Afavoriment de les espècies invasores

Sovint, la desaparició o el declivi d'una espècie són deguts a múltiples causes. El canvi climàtic pot afavorir la presència de les espècies invasores, amb efectes ecològics importants. La desaparició local de les espècies natives afavoreix les espècies invasores, les quals molt sovint tenen taxes reproductives altes, són bones colonitzadores i resisteixen a la contaminació i a l'alteració hidrològica. És el cas del cranc de riu americà (*Procambarus clarkii*), del musclo zebra (*Dreissena polymorpha*), de la cloïssa asiàtica (*Corbicula fluminea*), del cargol poma (*Pomacea maculata*), de la gambúsia (*Gambusia holbrooki*) o de la carpa (*Cyprinus carpio*), entre d'altres. Aquestes espècies invasores sovint ocasionen impactes ecològics importants que dificulten la recuperació de les espècies natives. Moltes d'elles són termòfiles i limnòfiles (és a dir, prefereixen les aigües estagnants o amb poc corrent). Per tant, l'augment de la temperatura i la disminució del cabal poden afavorir la distribució, la capacitat reproductiva i la densitat de les poblacions. És possible que l'augment de la temperatura també afavoreixi l'establiment de noves espècies invasores, encara molt més termòfiles, que fins ara difícilment poden sobreviure a les temperatures hivernals o que encara no aconsegueixen reproduir-se als nostres ecosistemes aquàtics continentals. El jacint d'aigua (*Eichhornia crassipes*), les til·làpies

(*Oreochromis* spp.) i altres espècies (com ara els cíclids) tropicals o subtropicals són candidats potencials a noves espècies invasores.

10.4. Efectes del canvi climàtic en el funcionament dels ecosistemes

10.4.1. Impactes en el metabolisme

Els canvis en els règims dels cabals i les temperatures per als ecosistemes de la regió mediterrània creen unes condicions ambientals noves que són especialment rellevants per al funcionament dels ecosistemes aquàtics. El metabolisme d'aquests ecosistemes depèn del balanç entre la producció autòctona i la respiració. La producció és un procés que depèn, bàsicament, de la disponibilitat de llum, nutrients i temperatura, mentre que la respiració depèn de la disponibilitat de nutrients, temperatura i matèria orgànica. El canvi climàtic pot tenir un efecte intens en la temperatura i la disponibilitat de matèria orgànica, de manera que s'espera que els efectes siguin més acusats per a la respiració (figura 10.2).

La temperatura produeix efectes directes en la respiració dels organismes i en tots els processos de síntesi o producció primària, atès que es regeixen pels principis bàsics de la bioquímica. Tot i això, la sensibilitat de la producció primària als canvis de temperatura no és tan acusada com la

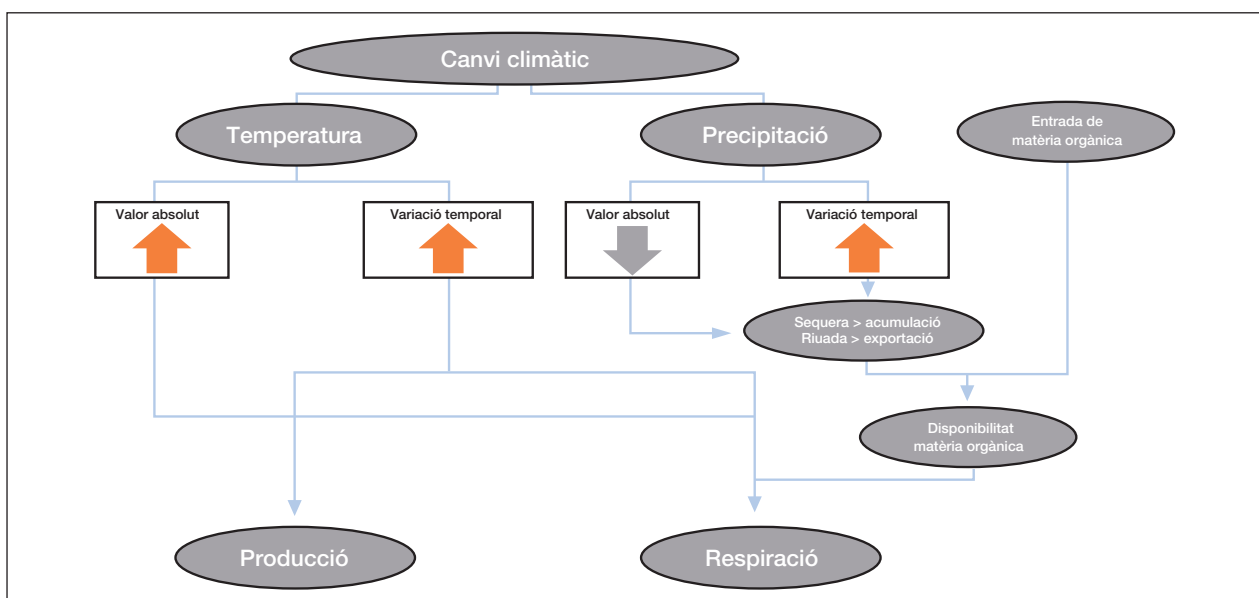


FIGURA 10.2. Efectes directes (per mitjà de canvis en la temperatura) i indirectes (per mitjà de canvis en la precipitació) del canvi climàtic en la producció i la respiració dels ecosistemes aquàtics continentals.

de la respiració, de manera que un increment, per exemple, de 2 °C pot correspondre a un increment d'un 19 % en la producció, però d'un 39 % en la respiració. Pel que fa a la disponibilitat de matèria orgànica, depèn fonamentalment de la retenció hidràulica del mateix sistema, que a la vegada es veu determinada pel cabal (figura 10.2). Els sistemes mediterranis es caracteritzen per experimentar fortes variacions quant a la matèria orgànica acumulada a les lleres, amb acumulacions importants durant períodes de cabals baixos o intermitents i, en canvi, exportacions massives durant les riuades. Així doncs, el canvi climàtic pot afectar el metabolisme d'una manera directa per mitjà de canvis en la temperatura i d'una manera indirecta per mitjà de canvis en la precipitació.

S'esperen increments en la producció d'algues i macròfits a causa de l'increment de la temperatura, especialment en períodes de cabals minsos, que poden ser llargs entre els episodis de riuades, i també increments més pronunciats en la respiració a causa de l'augment de la sensibilitat als canvis en la temperatura. No solament esperem canvis en els valors absoluts dels processos metabòlics (els valors anuals de respiració i producció), sinó també en les dinàmiques temporals, que es veuran molt més afectades pels extrems hidrològics (Acuña *et al.*, 2010). Així, doncs, es preveu que la xarxa fluvial mediterrània esdevingui més heterotròfica (un increment relatiu més gran de la respiració respecte de la producció), però alhora menys capaç de processar la matèria orgànica que hi entra. Això es pot explicar per les baixes respiracions durant els períodes secs i les altes exportacions de matèria orgànica durant les riuades. Una conseqüència d'aquests canvis en el metabolisme és que el processament del carboni en sistemes estagnants serà més important de resultes de l'augment de l'estabilitat hidrològica respecte dels sistemes lòtics (Acuña *et al.*, 2010).

10.4.2. Efectes en la dinàmica dels nutrients

Les concentracions de nutrients (com ara el nitrogen i el fòsfor) dissolts van lligades, en bona part, a l'increment de les condicions de sequera i als episodis de crescuda. En els sistemes fluvials, el control de l'activitat biòtica (de les algues, els bacteris i els fongs) sobre la química de les masses

d'aigua augmenta quan el riu queda fragmentat, cosa que explicaria l'increment de nitrats i matèria orgànica un cop el riu es torna a connectar amb el retorn de l'aigua. Els canvis produïts durant les crescudes, com ara l'erosió de la llera del riu i la inundació de les riberes, alteren les comunitats microbianes bentòniques i en redueixen la contribució com a reguladores i transformadores de nutrients. A més a més, durant aquests períodes, les entrades de matèria orgànica són intenses i massives, i no es dóna l'oportunitat que puguin ser processades pels organismes fluvials. Això és especialment evident durant les crescudes de tardor, que transporten tota la matèria orgànica (especialment fullaraca) procedent de la zona de ribera.

La capacitat de retenció de nutrients als rius (anomenada *autodepuració fluvial*) depèn de la quantitat i la velocitat de l'aigua circulant, en el sentit que com més cabal hi ha més disminueix l'eficiència retentiva. Per tant, les crescudes redueixen dràsticament la capacitat d'autodepuració dels rius. No obstant això, encara no sabem com es veu alterada la dinàmica temporal de la retenció de nutrients en rius intermitents quan es recuperen del període de sequera. D'altra banda, la mateixa concentració de nutrients té un efecte directe en la capacitat d'autodepuració fluvial. L'eficiència de retenció disminueix a mesura que la concentració de nutrients augmenta, atès que la disponibilitat de nutrients és més elevada que la demanda biològica. En aquest context, les entrades continuades d'efluents de les estacions depuradores d'aigües residuals urbanes esdevenen determinants en les característiques químiques dels rius receptors, especialment en condicions de cabal baix. Es tracta d'una situació cada cop més freqüent, en la qual els nutrients aportats per les depuradores no són processats eficientment pel sistema fluvial. Aquest fet ocasiona un increment de les exportacions de nutrients aigües avall i afavoreix, per tant, les condicions d'eutròfia. L'entrada d'aigües residuals urbanes també aporta microcontaminants orgànics que provenen de productes de neteja, farmacèutics i cosmètics, i que poden afectar l'activitat dels microorganismes i reduir-ne l'activitat. Aquests processos són especialment interessants, però de moment no hi ha evidències conclouents de les implicacions per als ecosistemes aquàtics a causa dels efectes del canvi climàtic.

10.4.3. Efectes en la descomposició de la matèria orgànica

Als ecosistemes fluvials de capçalera, la vegetació de ribera és la contribuïdora principal de fullaraca, una de les fonts més importants de matèria i energia dels cursos fluvials. L'estrès hídric pot produir canvis en la qualitat, la quantitat i la temporalitat de la fullaraca que hi arriba, i de retruc en els processos i els organismes que en depenen i en l'energia que proporcionen. D'aquests processos, el més important és la descomposició de la matèria orgànica.

Precisament, aquest procés podria ser alterat per causes associades al canvi climàtic. Les concentracions més grans de lignina i tanins en les fulles de les plantes són provocades per l'increment de la concentració de CO₂ atmosfèric i en dificulten la colonització per part d'organismes descomponedors com ara els fongs. D'altra banda, la disminució d'aquests descomponedors pot afectar la degradació de la matèria orgànica. D'aquesta manera, la qualitat del material disponible per als macroinvertebrats detritívors disminueix, igual com ho fa la taxa de descomposició i la disponibilitat d'aliment per als nivells tròfics superiors. Per tant, petites reduccions en la qualitat del detritus poden tenir conseqüències per al funcionament dels ecosistemes. Tot i això, els efectes previstos en la qualitat de la fullaraca són variables i apunten cap a respostes fenotípiques particulars de cada espècie de planta. El canvi en el patró temporal de la caiguda de la fulla a causa dels períodes prolongats de sequera també en pot afectar la descomposició si no està sincronitzada amb el cicle de vida dels macroinvertebrats que la utilitzen com a aliment (els detritívors).

Es preveu que l'augment de la temperatura afavoreixi la descomposició microbiana. En canvi, una disponibilitat més limitada d'aigua provocaria la disminució de la degradació de la matèria orgànica per part dels detritívors. Si bé a determinades latituds més septentrionals la velocitat de degradació dels detritus no es veu tan afectada, als sistemes mediterranis la possible combinació amb més escassetat d'aigua podria fer disminuir tant la descomposició microbiana com l'efecte fragmentador dels detritívors, de manera que la matèria orgànica acumulada augmentaria substancialment. Tot i això, la magnitud de les crescudes i la duració de les sequeres condicionarà, també, la quantitat i

la qualitat de la matèria orgànica dissolta que flueix durant les crescudes següents i que es desplaça cap als sistemes receptors.

10.5. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes fluvials

Els rius són sotmesos a pressions diverses que actuen a diferents escales. La més estesa és la del canvi climàtic, que s'expressa regionalment. A una escala intermèdia hi ha els canvis dels usos del sòl a la mateixa conca, i a una altra escala més local, els embassaments, les extraccions d'àrids, les derivacions d'aigua i les canalitzacions, que afecten localment la xarxa de drenatge fluvial. El procés d'adaptació dels sistemes fluvials depèn, en bona part, de la magnitud de la pressió, l'escala temporal i la distància respecte de la pertorbació. No obstant això, la mida de la conca també juga un paper clau en l'ajustament que experimenta un tram fluvial determinat i en com de ràpid respon al canvi. Cal esperar, doncs, que com més gran sigui la conca més lent serà l'ajustament a partir d'un mateix impacte, i que com més gran sigui l'escala de l'impacte més a llarg termini se'n veuran els efectes.

Els rius de capçalera són, *a priori*, més sensibles als canvis, ja que tenen una energia basal més elevada. Els temps reduïts de residència de l'aigua d'aquests sistemes comporten que les capçaleres fluvials es converteixin en «sentinelles» climàtics, molt sensibles a alteracions climàtiques. L'anàlisi de sèries hidrobiogeoquímiques temporals llargues ha permès determinar que els efectes climàtics són visibles a llarg, a mitjà i a curt termini. Per exemple, l'acumulació de sequeres al llarg dels anys (que es podria relacionar amb el fenomen d'El Niño) determina una reducció progressiva de l'arribada de fullaraca des del bosc de ribera. Els sistemes de capçalera responen molt ràpidament a canvis a llarg termini en la deposició dels sulfats que arriben a través de l'atmosfera; l'increment lleuger de nitrats a les capçaleres de la Tordera respon, probablement, a l'increment de la deposició de nitrogen procedent de l'àrea metropolitana de Barcelona.

Com més avall en el riu, més confosos i superposats es troben els impactes climàtics antròpics. Definir la rellevància del canvi climàtic en la hidrologia i la dinàmica fluvial a les grans conques catalanes (les del Llobregat, el Segre, el Ter i l'Ebre)

és una tasca complexa i d'un alt grau d'incertesa. Tots aquests rius han experimentat, d'una manera simultània a l'evolució climàtica, canvis molt notables en els usos del sòl (com ara la reforestació per l'abandonament de les àrees de muntanya o l'expansió de les àrees urbanes i industrials) al llarg del darrer segle. A més, són majorment regulats per grans preses, i les extraccions d'àrids, juntament amb les obres de canalització, han causat la major part dels canvis en la morfologia de les lleres. Només aigües amunt dels embassaments, on el règim hídric i sedimentari de la conca no és excessivament sotmès a canvis, és possible fer un assaig de la discriminació dels canvis en el règim hidrològic i sedimentari del riu, i extrapolar-ne, posteriorment, els resultats als trams inferiors de les grans conques (figura 10.3).

L'augment previst de la freqüència d'esdeveniments extrems, com ara sequeres i crescudes, pot tenir una gran incidència sobre els processos erosius a la conca i sobre la generació i la concentració de sediments. Un increment de la freqüència d'episodis de pluges torrencials i de l'erosivitat corresponent es podria veure compensat a la conca per l'increment de la coberta forestal i la disminució de l'erosivitat dels sòls. A les lleres fluvials, però, l'augment de la torrencialitat es podria traduir en processos generalitzats d'incisió del canal fluvial i comportar efectes rellevants en la quantitat i la qualitat de l'hàbitat disponible. Hipotèticament, els efectes serien semblants als que experimenten les lleres fluvials

aigües avall dels embassaments fins que la pertorbació s'estabilitza, perquè la incisió arriba a la roca mare i s'atura o perquè la capa superficial dels sediments esdevé més grollera i impedeix la mobilitat posterior dels sediments. En els trams que hi ha aigües avall dels embassaments l'increment de la torrencialitat es podria compensar per la laminació que les preses mateixes exerceixen en els cabals de crescuda. En aquests casos, l'efecte del canvi climàtic quedaria en segon terme, ja que la veritable reguladora de la dinàmica fluvial és la presa.

A les lleres de rius grans i mitjans no regulats, com ara a les parts altes del Ter i el Segre, s'observa, d'una manera natural, un canvi en el patró de drenatge dels rius, que perden dinamisme i passen, per exemple, d'una morfologia trenada, en la qual l'aigua circula per diferents canals dins la mateixa llera, a una de canal únic, molt més estable. Aquest canvi és l'expressió de la variació en el balanç entre cabal líquid i sòlid, i del balanç energètic associat als processos erosius fluvials. Un augment de la torrencialitat associada al canvi climàtic i una disminució de l'aportació de sediments associada als canvis a la conca poden comportar el canvi definitiu en el patró de drenatge. Aquesta nova morfologia, d'un sol canal, afavoreix l'increment de la presència de vegetació arbustiva i arbòria en zones del canal actives anteriorment. Així, per exemple, barres sedimentàries obertes fa alguns decennis ara apareixen cobertes per vegetació de ribera (figura 10.4).

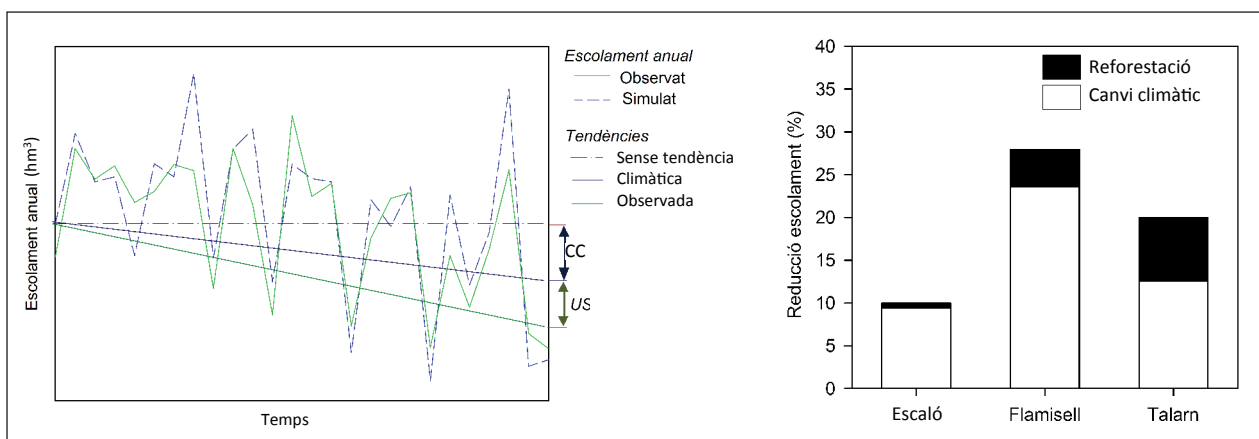


FIGURA 10.3. a) Model conceptual per a la comparació entre sèries de cabal observades i modelitzades mitjançant models hidroclimàtics a una conca de drenatge; la línia horitzontal indica que no hi ha tendència, mentre que les altres dues línies representen una disminució de l'escolament causat, inicialment, pel canvi climàtic, i després, pel canvi climàtic i els usos del sòl. b) Reducció de l'escolament en diferents punts de la Noguera Pallaresa per l'acció combinada del canvi climàtic i de la reforestació durant la segona meitat del segle xx.

Nombroses observacions indiquen que aquest procés de reducció de l'amplada activa i d'incisió és comú en rius d'ordre baix des de fa un parell de decennis; en trobem exemples a les rieres d'Arbúcies i Santa Coloma (a la serralada Prelitoral) i a la ribera Salada (al Prepirineu). En el cas de la ribera Salada, àrees de la llera fins fa pocs anys molt actives des del punt de vista sedimentari ara són ocupades per pins, una vegetació arbòria gens adaptada a les condicions hidràuliques que s'assoleixen durant les riuades, la qual cosa indica una reducció molt important de la magnitud i la freqüència dels episodis hidrològics extrems. No obstant això, encara no és possible determinar amb una certesa absoluta el grau de control de tots els processos sedimentaris i de la direcció i la velocitat del canvi en rius més grans. El que sí que és evident és que l'estabilització de les lleres produeix una sensació de falsa seguretat a la població local, que les acaba ocupant, cosa que augmenta el risc quan arriben els aiguats i les inundacions. Tot i això, cal afinar més bé el diagnòstic del que ha passat a escala regional per tal de poder predir la dinàmica futura de tots aquests processos.

10.6. Sospites i evidències del canvi climàtic als sistemes lacustres

10.6.1. Sistemes lacustres d'alta muntanya

Els estanys d'alta muntanya, a causa de la situació d'altitud, són sotmesos a condicions ambientals tradicionalment considerades extremes per a la

vida (com ara les temperatures baixes, la ultraoligotrófia, la radiació solar elevada i la presència d'una coberta de gel i neu durant l'hivern), que els fa molt sensibles a les influències externes. Aquesta sensibilitat, junt amb la distància relativa de les zones d'activitat humana, determina que els estanys d'alta muntanya esdevinguin enregistradors i bons sentinelles dels canvis ambientals del passat i del present.

Els efectes del canvi climàtic actual en la dinàmica dels ecosistemes aquàtics d'alta muntanya tenen diverses causes. L'augment de la temperatura atmosfèrica implica alteracions en l'estacionalitat, i l'alteració de la durada de la coberta de gel i neu que cobreix els estanys en el període hivernal i els canvis en la temperatura de l'aigua són especialment rellevants. Un allargament del període lliure de gel i un increment de la temperatura de l'aigua portaria els estanys cap a unes condicions més suaus i més productives, i els allunyaria de la ultraoligotrófia que els caracteritza. No obstant això, la interacció entre el clima i la dinàmica dels estanys és molt complexa, atès que hi intervenen molts factors i processos que tenen lloc a l'estany o a la conca mateixa. A més, la manca de sèries temporals llargues comporta que encara resulti difícil discernir els efectes de la tendència a l'escalfament dels efectes de les fluctuacions climàtiques periòdiques.

En el cas dels Pirineus, els estudis fets a l'estany Redon mostren una tendència clara a l'escalfament

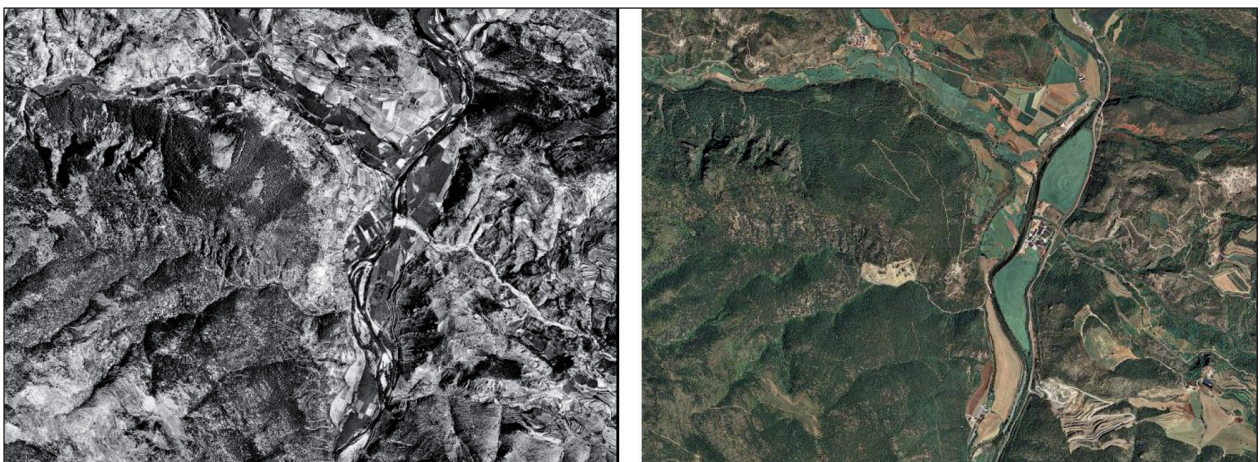


FIGURA 10.4. Canvis en el patró de drenatge del riu Segre a Organyà, aigües amunt de les grans preses, durant els darrers setanta anys (1945-2013). El riu ha perdut dinamisme, ha abandonat una morfologia trenada, indicadora d'un alt dinamisme fluvial, i ha esdevingut un riu de canal únic, amb els marges estabilitzats per la vegetació de ribera i la intrusió de conreus. En absència de preses, aquest canvi en el funcionament del riu només pot haver estat provocat per canvis en el règim de cabals i en l'erosió hídrica a la conca (la reforestació també és evident a les fotografies), i pel canvi climàtic.

al llarg de tot el segle XX, que s'accelera els darrers anys (Catalan *et al.*, 2002). Aquest augment es deu, bàsicament, a l'augment de les temperatures d'estiu i, sobretot, de les de tardor. L'efecte de l'escalfament esdevé evident en algunes espècies planctòniques de vida curta. És el cas de les diatomees *Fragilaria nanana* i *Cyclotella pseudostelligera*, que augmenten en abundància en connexió amb l'increment de temperatura del mes en què creixen (setembre i octubre, respectivament). També és el cas de les comunitats de crisòfits, en les quals el nombre i el tipus de cists que formen durant la primavera i l'estiu es correlacionen amb la temperatura de l'aire en la transició de l'hivern a la primavera (d'abril a maig), que determina el moment de fusió de la coberta de gel i l'inici del període de creixement a l'estany.

La importància de la durada de la coberta de gel en la composició de les comunitats dels estanys d'alta muntanya esdevé evident en un estudi estadístic que conté dades de diferents districtes lacustres, incloent-hi els Pirineus (Catalan *et al.*, 2009). Les comunitats de crustacis planctònics apareixen estretament lligades a la durada de la coberta de gel. Per exemple, hi ha una diferència clara entre els estanys on domina l'*Alonella excisa* i els estanys on domina la *Chydorus sphaericus* (de durada curta i llarga, respectivament), de manera que la proporció entre aquestes dues espècies es proposa com a indicador de la durada de la coberta de gel. Aquest estudi identifica un lliniar climàtic, corresponent a una durada de la coberta hivernal de 190 dies, el qual implica un canvi important de les característiques ecològiques dels sistemes i de la composició de les comunitats que hi creixen. Actualment, als Pirineus, una durada de la coberta de gel i neu de 190 dies se situa a l'entorn dels 2.400 m d'altitud, on trobem una gran proporció d'estanys. És fàcil preveure que un increment de pocs graus de temperatura de l'aire provocaria un escurçament de la durada de la coberta de gel d'aquests estanys, que traspassarien el lliniar esmentat i patirien canvis importants en la dinàmica física i química, i també en la composició de les comunitats d'organismes que hi viuen.

10.6.2. Sistemes lacustres càrstics

Els estanys (o llacs) i les llacunes (o estanyols) càrstics del sistema lacustre de Banyoles (Pla de

l'Estany) o l'estany de Montcortès (Pallars Sobirà) es caracteritzen per cubetes circulars i profundes que resulten de l'esfondrament del terreny per la dissolució dels guixos del subsòl a causa de l'acció de l'aigua freàtica. Això també determina que les aigües siguin molt riques en sulfats i que es produeixi una estratificació química gairebé permanent de la columna d'aigua al llarg de l'any (anomenada *meromixi*).

A l'estiu, aquest gradient químic coexisteix amb el gradient tèrmic i comporten una estratificació molt marcada de la columna d'aigua. Aquests sistemes tenen, doncs, una doble estratificació, que resulta més estable com més fort sigui el gradient de densitat entre les masses d'aigua o com més fonda sigui la cubeta. L'estabilitat i la durada d'aquesta estratificació tèrmica depèn de factors com ara la superfície, el volum, la morfometria i la profunditat de l'estany, i també la gravetat del clima (que depèn, en definitiva, de la localització geogràfica).

En termes generals, els estanys somers (com els existents a Catalunya) tendeixen a escalfar-se més ràpidament que els estanys de més fondària, atès que tenen menys inèrcia tèrmica i, per tant, responen ràpidament a canvis físics (com ara la temperatura o els gradients de densitat), químics (com ara la conductivitat, el pH o els nutrients) i biològics (com ara la producció primària, la composició del fitoplàncton i el zooplàncton, o la biomassa). Entre les variables de resposta (de fàcil mesura i integradores de l'estat de l'ecosistema, i per a avaluar els efectes de l'escalfament dels estanys causat pel canvi climàtic), hi ha la temperatura mitjana de l'epilímnion (la massa d'aigua superior en condicions d'estratificació), la durada del període d'estratificació estival i la fondària de la termoclina (Adrian *et al.*, 2009). La comparació d'aquestes tres variables en dues de les sis cubetes de l'estany de Banyoles (la C-II, situada al lòbul sud, i la C-III, situada al lòbul nord) mostra un canvi en els darrers tres decennis (figura 10.5). De fet, l'augment de la temperatura de l'epilímnion a l'estiu (de juny a setembre) s'estima en 1 °C per decenni i es correlaciona bé amb la temperatura de l'aire en el mateix interval de temps (Jordi Colomer, com. pers.). Si aquest increment es distribueix per tot l'any, en resulta un valor (0,03 °C/any) que triplica el registrat en la capa superficial dels oceans (0,01 [0,009-0,013] °C/any) per al perí-

ode 1971-2010 (IPCC, 2013). Tenint en compte les grans diferències quant a la superfície, el volum i la capacitat calorífica d'ambdós sistemes, sembla clar que l'escalfament d'ambdues masses d'aigua és comparable i entra dins dels marges d'error assumibles. Aquest escalfament anual és similar al registrat en altres llacs de l'hemisferi Nord, i va des dels 0,02 °C/any al llac Greifensee (Suïssa) als 0,157 °C/any al llac Stensjön (Suècia) (Adrian *et al.*, 2009).

L'escalfament també comporta una estabilitat més gran de l'estratificació estival, tot i que la durada no ha augmentat gaire en els darrers decennis. Així, s'ha passat dels sis mesos (de maig a octubre als cicles de 1997-1978; Abellà, 1980) als sis o set mesos en els darrers anys (de mitjan abril a final d'octubre o a principi de novembre; Borrego, dades no publicades) en el cas de la cubeta C-III. Aquesta estabilitat és afavorida per una transició més suau entre l'estiu i la tardor, que endarrereix

la barreja de la columna d'aigua fins a mitjan o final de novembre. L'escalfament de l'epilimnion té, a més, conseqüències des del punt de vista biològic, ja que estimula, entre d'altres, el creixement i l'activitat fitoplanctònica, zooplanctònica i bacterioplànctònica (Adrian *et al.*, 2009) i, per tant, acaba provocant un augment de la càrrega orgànica interna del sistema. La sedimentació posterior de la matèria orgànica a les capes profundes, aïllades en fondària per l'estratificació, i l'oxidació per part dels microorganismes acaba esgotant l'oxigen i genera una massa d'aigua anòxica en la qual s'acumulen compostos reduïts com ara l'amoni, el sulfhídric o el metà.

10.6.3. Embassaments

Al nostre país, els embassaments són els principals sistemes quasilacustres de grans dimensions, mentre que els estanys naturals són molt escassos. El paper com a interruptors del flux natural dels rius implica que siguin particularment sensi-

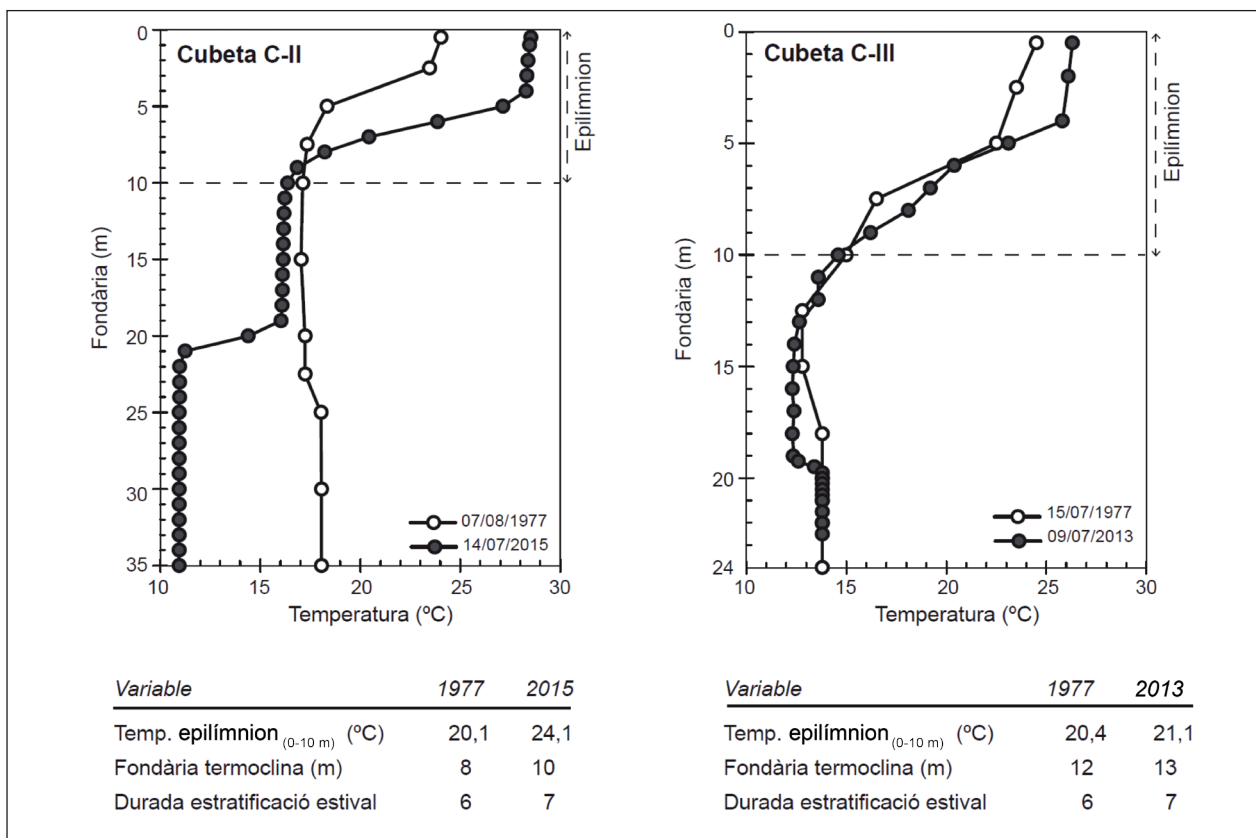


FIGURA 10.5. Comparació dels perfils verticals de temperatura a les cubetes C-II i C-III de l'estany de Banyoles als estius de 1977 i 2015 (C-II), i 1977 i 2013 (C-III), respectivament.

Font: Estació Meteorològica de l'Estartit i de Torroella de Montgrí (<http://meteolestartit.cat/banyoles>); Abellà (1980), i Borrego (dades no publicades). Es mostren, també, algunes de les variables de resposta recomanades com a indicadors del canvi climàtic (Adrian *et al.*, 2009).

bles a qualsevol alteració hidrològica o als canvis d'usos del sòl aigües amunt, com ho va reconèixer el darrer informe de l'IPCC, citant un estudi sobre l'embassament de Sau com a exemple de detecció i atribució dels impactes del canvi climàtic en la qualitat de l'aigua als ecosistemes aquàtics continentals (Marcé *et al.*, 2010; Jiménez Cisneros *et al.*, 2014).

L'augment de la temperatura de l'aire podria afectar l'estratificació tèrmica dels embassaments. La possible tendència entre els patrons d'estratificació tèrmica i les variacions de temperatura és modulada per la gestió hidrològica que l'home en fa. Els gestors humans dels embassaments extreuen aigua de diferents fondàries segons l'època de l'any, fet que determina canvis en la fondària i l'estabilitat de la termoclina (Moreno-Ostos *et al.*, 2008). Com que la fondària d'extracció és variable tant al llarg de les estacions com al llarg dels anys (a causa de possibles variacions en els criteris de gestió dels volums embassats), qualsevol impacte per canvis de temperatura en l'estratificació queda difuminat per la gestió antròpica. Aquest efecte és probablement més petit en embassaments molt reduïts, amb pocs canvis de nivell i gestió pràcticament inexistent (com, per exemple, l'embassament de

Foix), que poden respondre d'una manera similar a l'esperada als estanys (amb un augment de l'estabilitat de la termoclina i un allargament del període d'estratificació).

L'impacte de l'aigua circulant i entrant des dels rius en la qualitat de l'aigua als embassaments és evident. A l'embassament de Sau s'ha comprovat que el cabal fluvial té un paper fonamental en la generació de capes anòxiques en les capes profundes de l'embassament. Aquesta dinàmica defineix, en bona part, la qualitat de l'aigua a l'embassament (amb tensions baixes d'oxigen, presència de metalls solubles i altres substàncies reduïdes, càrrega interna de fòsfor, etc.). Breument: com menys cabal més desenvolupament de les capes anòxiques. A Sau s'ha detectat que el descens significatiu del cabal del riu Ter en els darrers quaranta anys ha afavorit la generació de capes anòxiques a l'embassament (Marcé *et al.*, 2010).

Es preveu que l'impacte del canvi climàtic en la qualitat de l'aigua als embassaments de Catalunya serà més gran per la molt probable disminució de cabals en un futur proper. La manca de dilució dels abocaments puntuals de matèria orgànica que arriben al riu des de les depuradores afectarà

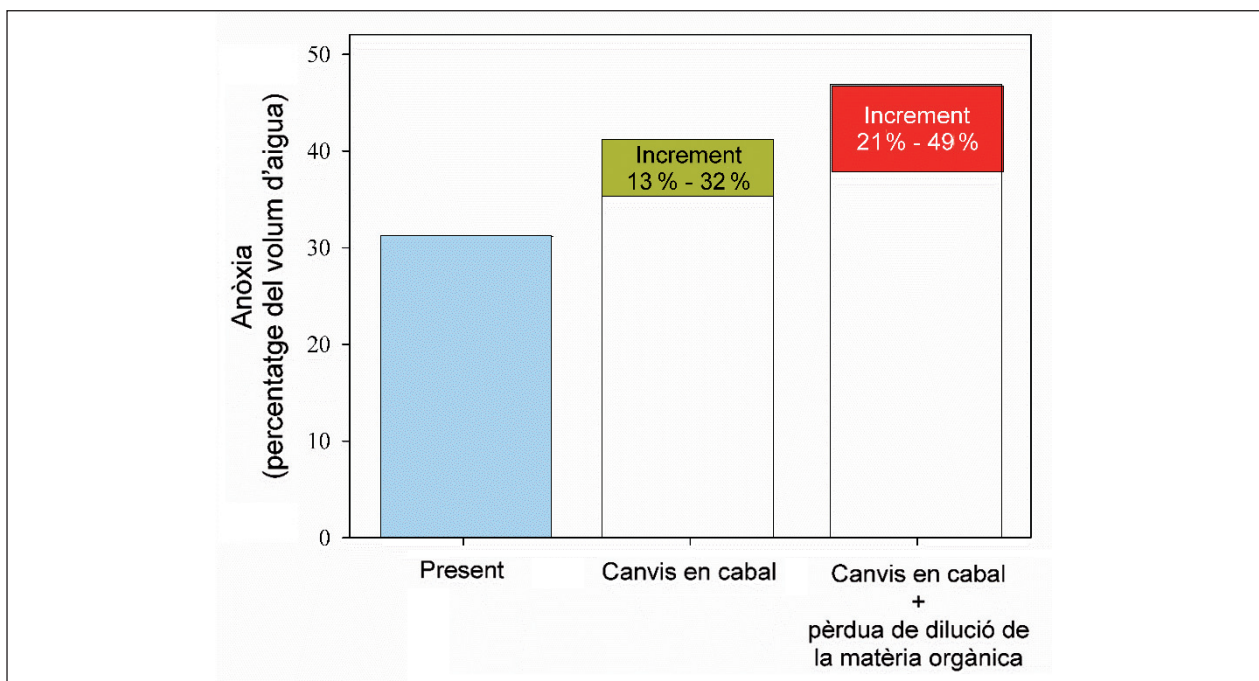


FIGURA 10.6. Canvis esperats en la quantitat d'aigua anòxica a l'embassament de Sau, tenint en compte els canvis esperats en el cabal del riu Ter per a un escenari d'augment de 2 °C de temperatura i l'efecte de la pèrdua de la capacitat de dilució de la matèria orgànica d'origen humà al mateix riu.

la qualitat de l'aigua dels embassaments i afavorirà el desenvolupament de capes anòxiques. Aquest efecte indirecte s'afegirà a l'efecte directe de la disminució dels cabals (figura 10.6).

10.7. Sospites i evidències del canvi climàtic a les llacunes i les aigües temporànies

10.7.1. Llacunes temporànies

La major part de les llacunes (o estanyols) temporànies s'omplen amb les pluges de tardor, si són prou importants, i després retenen l'aigua fins a la primavera, quan, si torna a ploure, fins i tot poden millorar el nivell hidrològic. De la primavera a l'estiu el nivell d'aigua descendeix ràpidament a causa de l'alta evaporació d'aquest període, i arriba a assecat-se totalment. Aquestes llacunes es coneixen com a *llacunes temporànies* i són abundants a les regions mediterrànies.

Les principals amenaces derivades del canvi climàtic per a les llacunes temporànies són degudes a canvis en el règim hídric, és a dir, canvis en la durada de la inundació, la freqüència de la dessecació i la predictibilitat dels moments d'inundació o d'assecatge, que depenen de la temperatura atmosfèrica i de la quantitat de precipitació. L'efecte del canvi climàtic en la temperatura atmosfèrica i la precipitació a Catalunya implicarà canvis en el règim hidrològic de les llacunes temporànies d'interior. Així, les pluges de tardor es preveu que siguin més minses (un 5 % menys per al decenni del 2012 al 2021 respecte de les que es van produir del 1971 al 2000), i les temperatures, més altes, de manera que l'evapotranspiració augmentarà i, per tant, el procés d'assecatge s'accelerarà. Conseqüentment, les llacunes patiran períodes de sequera més llargs, especialment les que presenten una hidrologia més dependent de les precipitacions. En un context d'escassetat hídrica també es pot esperar una explotació més gran dels aqüífers per part de l'home, que a la llarga farà disminuir la capacitat de recàrrega d'aigua de les llacunes per via subterrània. Tot plegat ocasiona la disminució de la durada i la freqüència dels períodes d'inundació, sobretot a les llacunes amb la hidrologia fortament vinculada a la dinàmica dels aqüífers. Així, doncs, llacunes que fins ara han estat permanents (han tingut aigua durant tot l'any) poden

esdevenir temporànies, i llacunes que actualment són temporànies poden desaparèixer o veure accentuat el caràcter efímer.

Els canvis en la hidrologia afectaran directament molts dels organismes aquàtics que habiten en aquestes llacunes, el desenvolupament larvari dels quals requereix un temps mínim en aigua. Per tant, la capacitat d'adaptació a situacions més temporànies i efímeres serà clau. Els organismes que podran sobreviure seran els que disposen d'estratègies vitals davant de la dessecació, mostren plasticitat fenotípica i/o tenen més capacitat de dispersió.

Entre les estratègies per a superar la fase eixuta hi ha l'existència d'estructures de resistència, sovint en forma d'ous, que s'acumulen al sediment i creen el que es coneix amb el nom de *banc d'ous*. Aquest banc d'ous, però, pot no ser suficient si l'escurçament de l'hidroperíode n'afecta directament l'eclosió o bé si, tot i poder eclosionar, no poden completar el cicle biològic i crear noves estructures de resistència abans que no s'assequi la llacuna. A la llarga, un potencial empobriment del banc d'ous posaria en perill la subsistència d'organismes que *a priori* semblaria que no s'haurien de veure afectats per un escurçament de l'hidroperíode. De fet, sense una plasticitat fenotípica elevada els organismes no podran sincronitzar l'època de reproducció amb el moment en què es produeixin les condicions ambientals òptimes per a assegurar la descendència. S'ha comprovat que espècies d'amfibis de llacunes temporànies presenten més plasticitat fenotípica que altres de llacunes permanents (Richter *et al.*, 2006), la qual cosa els permet adaptar el cicle vital a la impredecibilitat del medi. Ara bé, la plasticitat fenotípica té un límit, i quan el canvi ambiental és massa important pot ser insuficient per a permetre l'adaptació de l'organisme a les noves condicions. És en aquests casos que es comencen a percebre decalatges entre les condicions ambientals i els cicles biològics dels organismes que a la llarga poden comportar una pèrdua de biodiversitat. Per això és important considerar, també, la capacitat de dispersió a l'hora de valorar el possible impacte del canvi climàtic. Per exemple, els odonats presenten una capacitat de dispersió elevada; algunes espècies poden recórrer fins a 12 km al dia quan migren, tot i que en general les

distàncies varien entre 0,5 i 14 km l'any (Bush *et al.*, 2014). Per tant, la capacitat de dispersió és essencial per a assegurar la supervivència de les poblacions quan, a causa dels canvis hidrològics esperats, algunes llacunes existents avui dia desapareguin.

Així, doncs, les espècies que no disposin d'estratègies per a passar la fase seca a la llacuna, que mostrin una plasticitat fenotípica baixa o que tinguin menys capacitat de dispersió seran més susceptibles als canvis i poden arribar a desaparèixer, fet que comportaria l'empobriment de les comunitats biològiques. D'aquesta manera, llacunes amb hidroperíodes més curts i imprevisibles normalment van vinculades a comunitats aquàtiques amb menys riquesa d'espècies, menys presència de predadors i, en general, xarxes tròfiques més curtes.

10.7.2. Llacunes costaneres

S'ha detectat que l'increment del nivell del mar a la costa catalana és proper als 4 mm anuals i que va acompanyat d'un augment en la freqüència dels episodis de temporals de mar (Pascual *et al.*, 2012). Aquests canvis poden afectar la hidrologia de les llacunes costaneres, especialment les llacunes mesoeuhalines confinades, com ara les de l'Empordà i el Baix Ter, i les llacunes oligohalines no confinades, com ara les del delta de l'Ebre.

Les llacunes mesoeuhalines confinades ocupen depressions darrere el front dunar litoral i no disposen d'entrades més o menys continuades d'aigua dolça continental, de manera que la inundació depèn essencialment del mar. La hidrologia és determinada pel patró d'inundació i confinament: inundacions intenses i sobtades per temporals de mar, seguides de llargs períodes de confinament, durant els quals el nivell de l'aigua baixa progressivament (sovint fins a la dessecació a l'estiu) i la salinitat i el contingut de matèria orgànica augmenten. Aquest patró hidrològic influeix en la dinàmica dels nutrients, molt més influenciada per processos endògens que no pas per les entrades a través de les aigües d'aportació. La pujada del nivell del mar podria compensar la possible disminució de l'entrada d'aigua dolça i ocasionar llacunes de volum similar, però amb més salinitat. Aquestes fluctuacions en la salinitat

no comporten cap problema per als organismes que colonitzen aquestes aigües, ja que es tracta d'espècies eurihalines i euritermes, molt ben adaptades als canvis de temperatura i de salinitat tan característics d'aquests ecosistemes (Quintana *et al.*, 1998). L'augment en la irregularitat de les entrades d'aigua tampoc no sembla que hagi de ser un inconvenient, atès que accentuaria la dinàmica d'inundació i confinament, a la qual tota la comunitat aquàtica està molt ben adaptada. El principal risc per als sistemes costaners confinats deriva de la possibilitat de retrocés, i fins i tot de desaparició, si l'increment del nivell del mar segueix aquesta tendència.

Dos aspectes relacionats amb l'activitat humana poden magnificar el retrocés de les llacunes confinades. D'una banda, la major part han desaparegut durant els darrers decennis, ja que han estat substituïdes per urbanitzacions, càmpings i altres equipaments vinculats a l'activitat turística. Eren molt més abundants a mitjan segle passat, però actualment només en queden vestigis, sovint força degradats en una costa catalana majorment urbanitzada. D'altra banda, infraestructures com ara motes, esculleres i carreteres sovint delimiten d'una manera contundent els límits de la zona inundable. En absència d'aquestes barreres artificials, els sistemes aquàtics costaners podrien compensar l'increment gradual del nivell del mar amb un retrocés, també gradual, cap a l'interior. Però succeeix tot el contrari: la presència de barreres físiques limita dràsticament aquest esponjament (figura 10.7).

Una problemàtica molt diferent és la que es produeix a les llacunes oligohalines no confinades. En aquest cas, la circulació més o menys continuada d'aigua dolça, superficial o subterrània, trenca el patró de confinament tan característic de les llacunes confinades. A les llacunes oligohalines les previsions de canvis en la intensitat i la irregularitat de les precipitacions poden comportar un augment progressiu de la salinitat, i això sí que pot causar canvis en l'estructura de la comunitat aquàtica, atès que les espècies que colonitzen aquestes aigües toleren menys les fluctuacions de salinitat i necessiten una certa circulació d'aigua dolça. La dinàmica de nutrients en aquestes llacunes no depèn tant de processos endògens, sinó bàsicament

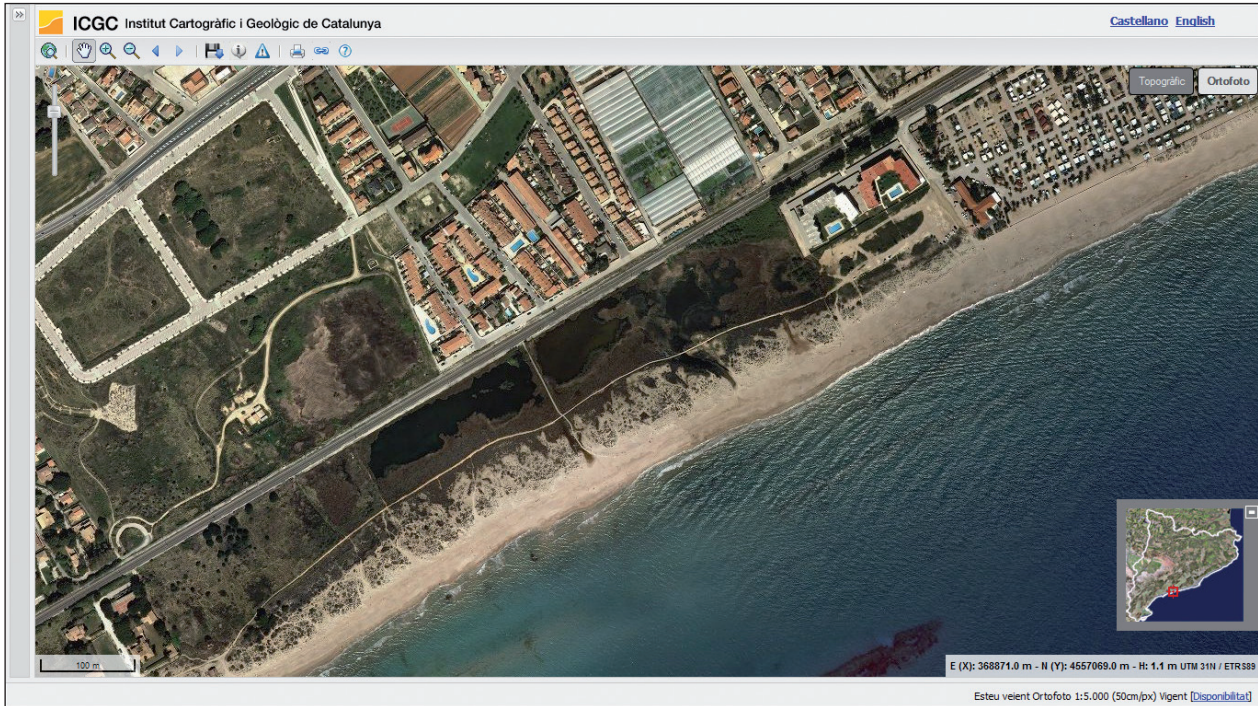


FIGURA 10.7. Ortofotomapa dels Muntanyans de Torredembarra, on el pas de la via del tren limita la capacitat d'esponjament i de desplaçament cap a l'interior dels aiguamolls com a resposta a una possible pujada del nivell del mar.

Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

de les càrregues de nutrients que entren amb les aigües. Es tracta, doncs, d'ecosistemes molt sensibles a la contaminació difusa originada a la conca de recepció.

En aquestes llacunes, el flux d'aigua dolça sempre és condicionat pels usos humans, bé per la captació d'aigua de consum, bé per l'escorrentia d'aigües de regadiu (figura 10.8). L'explotació dels aqüífers litorals fa disminuir el nivell freàtic i afavoreix la salinització de l'aqüífer, però també és freqüent que el cabal que els arriba depengui més de les necessitats d'aigua per al regadiu que del règim de precipitacions. A les llacunes del delta de l'Ebre, el patró de circulació d'aigua depèn del conreu de l'arròs, fet que causa una circulació d'aigua dolça i una taxa de renovació màxima a l'estiu (Comín *et al.*, 1993). A les llacunes oligohalines del Baix Ter, els màxims de circulació d'aigua coincideixen amb les necessitats de regadiu. El control del cabal en les aigües dolces també influeix sobre el cabal sòlid, i d'una manera notable sobre la dinàmica hidromorfològica del sistema litoral, com posa de manifest la influència dels embassaments sobre el transport de sediments al riu i la dinàmica mor-

fològica del delta de l'Ebre consegüent (Ibáñez *et al.*, 1996; Tena *et al.*, 2013).

10.8. Possibles sinergies del canvi climàtic amb altres impactes antròpics

Tant els canvis en el clima com les empremtes derivades directament de l'activitat humana són part de l'anomenat *canvi global*. Moltes de les perturbacions que acompanyen aquest canvi global són de tal intensitat que no poden ser assumides per la biota. Quan les accions del canvi climàtic es conjuguen o coincideixen amb les produïdes per l'activitat humana directa, els impactes es multipliquen i la predicció es complica.

Els fenòmens climàtics produeixen impactes importants als sistemes aquàtics continentals. Com a exemple, tenim els observats al riu Llobregat a partir de dipòsits paleosedimentaris. S'ha pogut saber que l'avinguda més gran de les enregistrades en temps moderns a l'altura de Pont de Vilomara (1971; $2.300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) fou excedida en cinc ocasions al llarg dels darrers 2.700 anys, amb descàrregues entre 3.700 i $4.300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Thorndycraft *et al.*, 2005). Per tal d'imaginar el possible efecte

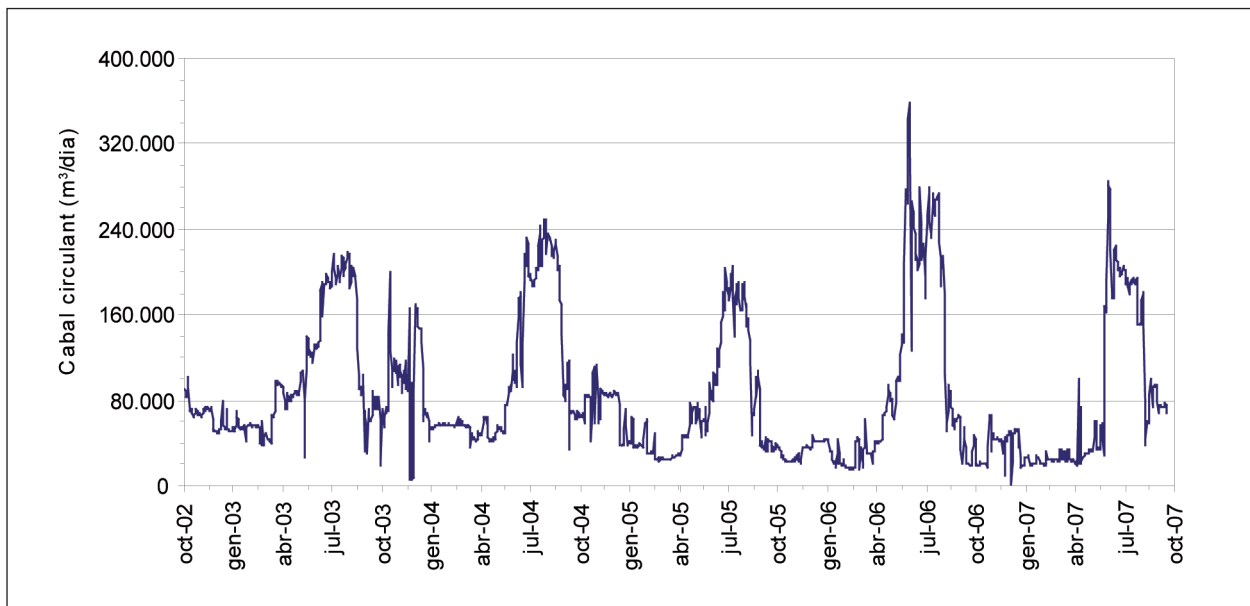


FIGURA 10.8. Evolució dels cabals circulants pel rec de Sentmenat (Baix Ter), on s'observa un cicle hidrològic invertit, amb màxims que coincideixen amb l'època estival i mínims que coincideixen amb el període de regadiu, a l'hivern i a la primavera.

Font: Montaner (2010).

sobre l'estructura física del riu i sobre la biota, es pot comparar aquest valor amb el cabal mitjà que transporta el riu, que és de $21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Aquest increment sobtat d'energia causat per riuades grans encara és molt més elevat en el cas dels rius que encara tenen un caràcter més mediterrani i torrencial, com ara els rius que drenen les serralades costeres i les rieres litorals.

Aquestes perturbacions naturals extraordinàries dissipen una quantitat enorme d'energia d'una manera puntual, molta més de la que es produeix per la mà de l'home, la qual, en canvi, té una perdurabilitat alta i efectes extensius i crònics sobre els ecosistemes. És el cas de les canalitzacions, l'assecament de zones humides o la contaminació crònica, entre moltes d'altres, que afecten la biodiversitat i el funcionament dels sistemes aquàtics continentals en diferents graus. Aquestes perturbacions extensives i persistents es combinen amb les climàtiques, i comporten que els ecosistemes «emmalalteixin» i esdevinguin molt més vulnerables.

L'alteració principal que pateixen els sistemes aquàtics continentals va lligada al cicle hidrològic. Del flux d'aigua que circula a escala global pels continents (aproximadament, uns $40.000 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$) un 15 % és retingut en 45.000 grans embassa-

ments i retirat per a la irrigació, l'aigua potable, les activitats industrials i el transvasament entre conques. El resultat d'aquestes manipulacions i de l'ús subsegüent d'aquests cabals és que fins a un 52 % de la superfície ocupada pels grans rius mundials és fortament modificat per canals i preses. Com és obvi històricament, Europa és el continent amb la proporció més gran de segments de riu regulats, i la conca mediterrània n'és una de les més afectades. En molts casos, és habitual que els rius arribin exhausts al mar, la qual cosa evidencia la intercepció dels cabals que s'hi produeix. A Catalunya, la fracció retinguda per l'home a les conques internes és del 36,4 %, i baixa lleugerament al 30 % si incorporem el Segre en el còmput. Això representa que més d'un terç de l'aigua que es renova cada any a Catalunya per raó del cicle hidrològic és interceptada i derivada per a ser utilitzada per a la irrigació o com a aigua potable. Es tracta d'un impacte extraordinari derivat de l'acció humana directa que afavoreix moltes de les alteracions que pateixen els sistemes aquàtics continentals.

L'excés de nutrients, l'arribada de materials contaminants orgànics i l'aparició d'espècies invasores no tenen origen climàtic, sinó directament humà, i contribueixen a incrementar l'estrès dels ecosistemes aquàtics. Aquests efectes es combinen amb

l'estrès hidrològic que descrivíem i en resulten ecosistemes que funcionen amb comunitats empobrides en espècies, on només podran sobreviure les més adaptades, que sovint són les oportunistes o, fins i tot, exòtiques.

El resultat del canvi global, incloent-hi el climàtic, als sistemes aquàtics continentals és extensiu i els situa en una posició al límit de la capacitat de càrrega, és a dir, que excedeix la capacitat natural de recuperació. Per tant, funcionen més malament i esdevenen més fràgils.

Els sistemes estan molt afectats, però també ho estan els beneficis que com a societat en traiem. Els ecosistemes aquàtics continentals proporcionen serveis com ara la depuració de les aigües, el control de les avingudes i el control dels gasos amb efecte d'hivernacle. Quan l'ecosistema es troba en una situació d'estrès, el funcionament i la qualitat dels serveis que proporciona empitjoren. A tall d'exemple, un riu contaminat i que duu poca aigua (per tant, amb una concentració alta de materials dissolts) se satura, i l'eficiència en la captació de nutrients o de contaminants orgànics disminueix. En un riu contaminat, a més, les diferències en l'oxigen dissolt entre el dia i la nit són grans, i màximes a temperatures elevades i a cabals baixos, de manera que els peixos i els altres organismes sensibles a aquestes oscil·lacions responen desplaçant-se a un lloc més favorable o, simplement, desapareixent.

Aquesta situació no solament empobreix els ecosistemes, sinó que, a més, és costosa per diverses raons. Primer, perquè ens obliga a recuperar els sistemes invertint recursos econòmics en la restauració. Després, perquè el fet de no poder utilitzar els beneficis directes que proporcionen comporta haver-los de suplir amb una tecnologia energèticament cara. I sobretot, perquè col·loca els nostres ecosistemes en una situació que no hauríem de llegar a les generacions que ens segueixen.

10.9. Conclusions

Separar els efectes del canvi climàtic de les altres alteracions humanes és difícil en un medi com el nostre, en el qual les influències humanes han estat tan esteses i constants des de fa segles. Pel que fa als receptors d'aquestes influències, les

comunitats aquàtiques, els arriba una successió i miscel·lània de pressions que posen en risc el funcionament dels ecosistemes. És obvi que les aigües continentals es troben en una situació de risc, i, per tant, també s'hi troben la biodiversitat, el funcionament i els serveis que ens proporcionen. Les implicacions del canvi climàtic i de les pressions humanes directes afecten tant els recursos (cada cop més minvats i de menys qualitat) com la biodiversitat (decreixent i més trivial). Els ecosistemes cada cop estan sotmesos a més pressions, i la capacitat d'aportar serveis (serveis ecosistèmics) decreix qualitativament. Aquestes són les conseqüències de l'anomenat *canvi global*, que inclou tant els efectes del canvi climàtic com les alteracions que l'home efectua a diferents escales.

No obstant això, la biota dels ecosistemes aquàtics continentals ha evolucionat sota el caràcter efímer i fluctuant, a escala temporal geològica, en comparació amb els sistemes marins. Per això els organismes tenen una plasticitat fenotípica elevada per a sobreviure a l'eixutesa, trets biològics per a adaptar-se a les fluctuacions ambientals tèrmiques i de salinitat, una resistència i una resiliència elevades davant les pertorbacions i una gran capacitat de dispersió i colonitzadora de nous ambients aquàtics. Tot i això, cal mitigar, en la mesura que sigui possible, els efectes del canvi climàtic en els ecosistemes aquàtics continentals.

10.10. Recomanacions

La mitigació dels efectes del canvi climàtic comporta disminuir tant com sigui possible els efectes associats al canvi global. Aquestes mesures es poden concretar en les següents:

- Cal un monitoratge més precís dels ecosistemes aquàtics continentals i un seguiment de les espècies més amenaçades pel canvi climàtic. Cal potenciar el coneixement de la resposta de les espècies al canvi climàtic, les quals actuen com a sentinelles del canvi, i el seguiment a llarg termini d'ecosistemes clau. El seguiment correcte d'uns i altres permetrà extrapolar les possibles conseqüències del canvi climàtic. Les xarxes de seguiment actuals, pensades especialment per a la qualitat química de les aigües, són insuficients per a detectar els canvis en ecosistemes sensibles. Molts d'aquests, com ara els estanys d'alta

mntanya o les llacunes costaneres, no semblen sotmesos a perills immediats, però ho estan a d'altres que actuen a llarg termini, com ara el canvi climàtic. Per tant, les xarxes de seguiment han d'incorporar aquests sistemes fent servir indicadors adequats que permetin definir els impactes acuradament.

- Cal preservar especialment les capçaleres dels rius, origen múltiple del complex sistema de drenatge que caracteritza els sistemes fluvials. Salvaguardar les capçaleres és salvaguardar els rius. Les capçaleres poden esdevenir intermitents fàcilment, i la vegetació de ribera dels ecosistemes de ribera associats és susceptible de desaparèixer. Mitigar els impactes sobre els rius implica disminuir tant com sigui possible els usos del territori que siguin lesius a les capçaleres o que les puguin afectar directament (com ara la simplificació de la llera, l'eliminació del bosc de ribera i l'arribada de purins o de fertilitzants).
- En el cas dels ecosistemes costaners, recuperar, almenys allà on encara sigui possible, la capacitat d'esponjament i dotar el sistema costaner de l'amplada suficient per a adequar-se als futurs canvis en el nivell del mar ha de ser una prioritat. Als sistemes costaners no confinats, controlar i revertir les disfuncions en els usos de l'aigua a la conca és prioritari per a garantir la funcionalitat ecològica dels sistemes aquàtics costaners. Reforçar les infraestructures costaneres per tal de defensar-nos de la possible pujada del nivell del mar pot afectar, secundàriament, aquests sistemes tan delicats. Caldrà posar l'èmfasi a resoldre la causa dels problemes, i no tant a resoldre'n les conseqüències. No ens podem permetre, en un país sotmès a una pressió turística i demogràfica formidable, malmetre ni un més d'aquests sistemes.
- En el cas de les llacunes temporànies d'interior, el règim hidrològic no solament és clau per a preservar la singularitat de la flora i la fauna, sinó també per a preservar-ne la funcionalitat. Cal evitar, doncs, possibles modificacions justificades per les necessitats creixents d'aigua de la població, ja sigui utilitzant aquestes llacunes per a emmagatzemar aigua d'una manera permanent o bé extraient-ne la que, d'una manera natural, s'hi acumula.

- Cal desenvolupar estratègies per tal d'evitar la proliferació d'espècies invasores i el declivi de les espècies natives amenaçades, tenint cura especial de la connectivitat fluvial i de la qualitat de l'entorn lacustre. Evitar l'establiment de les espècies invasores comporta, forçosament, mantenir la qualitat de l'hàbitat i de l'aigua dels sistemes aquàtics.
- La conjunció del canvi climàtic i altres elements globals a Catalunya pot fer més difícil el compliment de directives (com ara la Directiva marc de l'aigua, la Directiva de zones vulnerables als nitrats, la Directiva d'hàbitats o la Directiva d'inundacions) que cal complir obligatòriament. Aquestes directives, en molts casos dissenyades per a altres ambients i climes que no són mediterranis, no han estat pensades per a situacions d'estrès derivades de l'agreuament del canvi climàtic i global. Mantenir el nivell de qualitat a què obliguen aquestes directives ambientals ens ha de dur a anticipar aquestes situacions legislativament i a generar un diàleg més fluid entre la recerca i la gestió dels sistemes aquàtics continentals. Això hauria d'anar paral·lel a una planificació curosa del territori, que preservés els sistemes sensibles com ara els estanys d'alta muntanya, els sistemes càrstics, les àrees costaneres o les capçaleres fluvials, per tal d'amosir els impactes al territori.

Referències bibliogràfiques

- ABELLÀ, C. (1980). *Dinàmica poblacional comparada de bacterias fotosintéticas planctónicas*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- ACA = AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (ed.) (2009). *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua <http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/aigua_canvi_climatic.pdf> [Consulta: 22 gener 2016].
- ACUÑA, V.; TOCKNER, K. (2010). «The effects of alterations in temperature and flow regime on organic carbon dynamics in Mediterranean river networks». *Global Change Biology*, 16, p. 2638-2650.

- ADRIAN, R.; O'REILLY, C. M.; ZAGARESE, H. [et al.] (2009). «Lakes as sentinels of climate change». *Limnology and Oceanography*, 54, p. 2283-2297.
- ARRHENIUS, S. (1915). *Quantitative laws in biological Chemistry*. Londres: Bell.
- BARRERA-ESCODA, A.; LLASAT, M. C. (2015). «Evolving flood patterns in a Mediterranean region (1301-2012) and climatic factors: The case of Catalonia». *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, p. 465-483.
- BUENDÍA, C.; BATALLA, R. J.; SABATER, S. [et al.] (2015). «Runoff trends driven by climate and afforestation in a Pyrenean basin». *Land Degradation and Development*. DOI: 10.1002/ldr.2384.
- BUSH, A. A.; NIPPERESS, D. A.; DUURSMA, D. E. [et al.] (2014). «Continental-scale assessment of risk to the Australian odonata from climate change». *Plos One*, 9, p. e88958.
- CATALAN, J.; BARBIERI, M. G.; BARTUMEUS, F. [et al.] (2009). «Ecological thresholds in European alpine lakes». *Freshwater Biology*, 54, p. 2494-2517.
- CATALAN, J.; PLA, S.; RIERADEVALL, M. [et al.] (2002). «Lake Redo ecosystem response to an increasing warming in the Pyrenees during the twentieth century». *Journal of Paleolimnology*, 28, p. 129-145.
- COMÍN, F. A.; VALIELA, I. (1993). «On the controls of phytoplankton abundance and production in coastal lagoons». *Journal of Coastal Research*, 9(4), p. 895-906.
- FILIFE, A. F.; LAWRENCE, J. E.; BONADA, N. (2013). «Vulnerability of stream biota to climate change in Mediterranean climate regions: A synthesis of ecological responses and conservation challenges». *Hydrobiologia*, 719, p. 331-351.
- IBÁÑEZ C.; PRAT, N.; CANICIO, A. (1996). «Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro river and its estuary». *Regulated Rivers: Research and Management*, 12(1), p. 51-62.
- JIMÉNEZ CISNEROS, B. E.; OKI, T.; ARNELL, N. W. [et al.] (2014). «Freshwater resources». A: IPCC = INTER-GOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press, p. 229-269. També disponible a: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap3_FINAL.pdf> [Consulta: 22 gener 2016].
- MARCÉ, R.; RODRÍGUEZ-ARIAS, M. A.; GARCÍA, J. C. [et al.] (2010). «El Niño-Southern Oscillation and climate trends impact reservoir water quality». *Global Change Biology*, 16, p. 2857-2865.
- MAS-MARTÍ, E.; GARCÍA-BERTHOUS, E.; SABATER, S. [et al.] (2010). «Comparing fish assemblages and trophic ecology of permanent and intermittent reaches in a Mediterranean stream». *Hydrobiologia*, 657, p. 167-180.
- MONTANER, J. (ed.) (2010). *El flux hidrològic de la plana litoral del Baix Ter: Evolució fluvial, caracterització hidrològica i pautes de gestió*. Torroella de Montgrí: Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- MORENO-OSTOS, E.; MARCÉ, R.; ORDÓNEZ, J. [et al.] (2008). «Hydraulic management drives heat budgets and temperature trends in a Mediterranean reservoir». *International Review of Hydrobiology*, 93, p. 131-147.
- PASCUAL, J.; BENSOUSSAN, N.; SALAT, J. [et al.] (2012). «Clima i règim tèrmic de les aigües de les illes Medes i el Montgrí». A: HEREU, B.; QUITANA, X. (ed.). *El fons marí de les illes Medes i el Montgrí: quatre dècades de recerca per a la conservació*. Torroella de Montgrí: Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis, p. 63-78.
- QUINTANA, X. D.; COMIN, F. A.; MORENO-AMICH, R. (1998). «Nutrient and plankton dynamics in a Mediterranean salt marsh dominated by incidents of flooding. Part 2: Response of the zooplankton community to disturbances». *Journal of Plankton Research*, 20, p. 2109-2127.
- RICHTER-BOIX, A.; LLORENTE, G. A.; MONTORI, A. (2006). «A comparative analysis of the adaptive developmental plasticity hypothesis in six Mediterranean anuran species along a pond permanency gradient». *Evolutionary Ecology Research*, 8, p. 1139-1154.
- TENA, A.; BATALLA, R. J. (2013). «The sediment budget of a large river regulated by dams (Ebro, NE

Spain)». *Journal of Soils and Sediments*, 13(5), p. 966-980.

THORNDYCRAFT, V. R.; BENITO, G.; RICO, M. [et al.] (2005). «Long-term flood discharge record derived from slackwater flood deposits of the Llobregat River, NE Spain». *Journal of Hydrology*, 313(1-2), p. 16-31.

VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; BEGUERÍA, S. [et al.] (2014). «Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in Southern Europe». *Environmental Research Letter*, 9, p. 044001.

11 Ecosistemes marins i costaners

Autors

Carles Pelejero

Joandomènec Ros

Rafel Simó

Carles Pelejero és llicenciat en ciències químiques per la UAB (1991) i doctor en química per la UB (2000). Des de l'any 2001 fins al 2005 va dur a terme una estada postdoctoral a la Universitat Nacional d'Austràlia i a Geoscience Australia, Canberra. L'any 2005 va iniciar la recerca a l'Institut de Ciències del Mar (CSIC), on l'any 2006 va ser contractat per l'ICREA com a professor d'investigació. La recerca, que abraça disciplines com la paleoclimatologia, la paleoceanografia i la química marina se centra a entendre i quantificar els canvis en el clima i el medi marí, tant actualment com en el passat. Durant els últims anys ha estat fent recerca sobre els efectes de la progressiva acidificació dels oceans provocada per l'absorció marina del CO₂ que els humans emetem a l'atmosfera.

Joandomènec Ros és llicenciat en biologia (1968) i doctor en biologia (1973) per la UB. És catedràtic d'ecologia a la UB des del 1986, on va dirigir el Departament d'Ecologia. Com a especialista en ecologia marina (bentos marí, mol·luscs opistobranquis i conservació de la biodiversitat) ha coordinat programes de recerca, ha publicat més d'un centenar d'articles en revistes especialitzades i diversos llibres tècnics (*Prácticas de ecología, Els sistemes naturals de les illes Medes, Vora el mar broix, Introducción a la biología de la conservación*, etc.). És autor de llibres de divulgació sobre el medi ambient i la ciència en general i ha traduït un bon nombre de llibres d'eco-

logia, biologia evolutiva i biologia marina. Ha dirigit una quinzena de tesis, el Programa de Ciències del Mar de la Universitat de la Mediterrània (MEDCAM-PUS), el grup consolidat de recerca de la Generalitat de Catalunya Ecologia del Zoobentos Marí i la Càtedra UNESCO de Medi Ambient i Desenvolupament Durable de la UB. És membre de l'Institut d'Estudis Catalans (actualment n'és el president) i de diverses societats científiques i ha rebut la Medalla Narcís Monturiol al Mèrit Científic i Tecnològic. Participa en òrgans consultors del país i de l'estranger, com el Consell de Protecció de la Natura (que presideix), i ha estat rector de la Universitat Catalana d'Estiu.

Rafel Simó és llicenciat en ciències químiques per la UAB (1989), doctor en química per la UB (1995) i professor d'investigació del CSIC a l'Institut de Ciències del Mar, on treballa des del 1997. La recerca que duu a terme se centra a entendre i quantificar els intercanvis entre la biosfera dels oceans i l'atmosfera, i el paper que aquests intercanvis tenen en la regulació del clima del planeta. Amb aquest objectiu, fa servir un espectre ampli d'aproximacions, des de la biogeoquímica basada en mètodes moleculars fins a l'observació dels oceans i l'atmosfera des de l'espai, tot passant pels estudis d'ecologia i fisiologia del plàncton. Ha treballat al Mediterrani, l'Atlàntic, el Pacífic, l'Àrtic i l'Antàrtida. És coautor del llibre *Cambio global* (CSIC) i redactor del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*.

Sumari

Síntesi	265
11.1. Introducció	266
11.2. Síntesi de l'evolució de variables fisicoquímiques de les aigües marines	266
11.2.1. Temperatura i nivell del mar	266
11.2.2. Salinitat	266
11.2.3. pH	267
11.2.4. Nutrients	268
11.2.5. Corrents marins i barreja vertical	268
11.3. Vulnerabilitat de comunitats mediterrànies d'elevada biodiversitat	269
11.3.1. Coral·ligen	269
11.3.2. Alguers de <i>Posidonia</i>	270
11.4. Canvis en relació amb l'espècie	272
11.4.1. Algues	272
11.4.2. Invertebrats	273
11.4.3. Peixos	274
11.5. Fenòmens amb impacte socioeconòmic directe	276
11.5.1. Proliferacions de meduses	276
11.5.2. Proliferacions d'algues tòxiques	277
11.6. Biodiversitat	278
11.7. Serveis ecosistèmics	280
11.8. Conclusions	282
11.9. Recomanacions	283
Referències bibliogràfiques	284

Síntesi

La Mediterrània és una mar semitancada i que pateix una gran pressió a causa de l'activitat humana vora la costa, dos aspectes que la fan especialment vulnerable al canvi climàtic. Les observacions pluridecennals mostren que la mar catalana s'està escalfant a una velocitat de 0,3°C per decenni i que el nivell del mar augmenta gairebé quatre centímetres per decenni, i els models apunten que gairebé la meitat d'aquests canvis han estat causats per l'escalfament global d'origen antropogènic. Aquests canvis progressius, juntament amb episodis puntuals de sobreescalfament a l'estiu o amb un augment de les tempestes de tardor, tenen efectes en els ecosistemes marins. Les comunitats de coral·ligen dels fons litorals, formades sobretot per organismes sèssils i de creixement lent, experimenten episodis de mortaldats massives dels quals els costa molt recuperar-se. L'extensió dels alguers de *Posidonia* és sensible a la temperatura i a les variacions del nivell del mar. A l'ecosistema pelàgic, els models preveuen un increment de la producció primària bruta del fitoplàncton que no es veu reflectida en un augment de la productivitat planctònica neta perquè també s'incrementa la respiració. Tant entre els organismes sèssils com en els que es poden moure (vàgils), s'observa un desplaçament cap al nord d'algunes espècies

habituals al litoral català, mentre que la presència d'espècies termòfiles vingudes de més al sud augmenta. Els hiverns suaus, la poca pluviositat i els estius càlids afavoreixen els eixams de meduses a les platges. A més, algunes algues tòxiques es poden veure afavorides per aigües més càlides i més estratificades. Alguns d'aquests canvis constitueixen amenaces per als serveis de què els ecosistemes marins proveeixen la societat: referents culturals, recursos econòmics directes (turisme i pesca), protecció pel que fa a l'erosió, la captura i l'emmagatzemament de CO₂ atmosfèric, o l'aprofitament farmacèutic i industrial de la riquesa genètica i metabòlica. Malauradament, els agents climàtics actuen sinèrgicament i en la mateixa direcció que molts altres agents antròpics. Recomanem, doncs, que els esforços de mitigació de l'escalfament global vagin acompanyats d'esforços de millora i de regulació d'activitats d'impacte ambiental com ho són algunes arts de pesca, la pol·lució, l'explotació recreativa o la construcció. Es fa imprescindible, també, dissenyar i aplicar estratègies d'inversió en recerca i monitoratge i en protecció d'hàbitats singulars.

Paraules clau

mar Mediterrània, mar catalana, organismes marins, ecosistemes marins, biodiversitat, serveis ecosistèmics

11.1. Introducció

La mar Mediterrània presenta una sèrie de característiques (profunditat mitjana moderada i ràpida renovació de les aigües, sobretot a la conca occidental) que la fan especialment sensible al canvi climàtic, amb impactes que es preveu que s'esdevinguin amb més rapidesa i intensitat que als oceans.

En aquest capítol presentem una síntesi de les darreres novetats pel que fa als efectes del canvi climàtic en els ecosistemes marins i costaners. El capítol s'estructura en sis parts fonamentals. En la primera, se sintetitzen les tendències d'alguns paràmetres fisicoquímics importants en el context del canvi climàtic: la temperatura i el nivell del mar, la salinitat, el pH, els nutrients, els corrents marins i la barreja vertical de la columna d'aigua. En la segona es comenten específicament dues de les comunitats mediterrànies amb una biodiversitat més elevada: el coral·ligen i els alguers de *Posidonia*. En la tercera s'analitzen canvis que s'han constatat en espècies d'algues, invertebrats i peixos. En la quarta s'avalua l'estat de la qüestió pel que fa a dos fenòmens amb impacte socioeconòmic directe: les proliferacions litorals de meduses i d'algues tòxiques. En la cinquena es discuteixen els possibles impactes del canvi climàtic en la biodiversitat. Finalment, en la sisena part s'incideix en les possibles afectacions en els serveis de què els ecosistemes marins proveeixen la població humana.

La confecció d'aquest capítol s'ha dut a terme, fonamentalment, sobre la base de la recopilació, per part dels autors, de treballs científics posteriors a la publicació del capítol equivalent del SICCC (Simó *et al.*, 2010), de manera que li ha servit de continuació, i amb la intenció d'actualitzar la informació allà on hi ha hagut els avenços més significatius. En alguns apartats s'ha rebut informació experta de primera mà provinent de Jordi Camp, Eva Flo i Ana Sabatés (ICM-CSIC), Enric Ballesteros (CEAB-CSIC) i Cristina Linares (UB), que han ajudat a l'hora de recollir documentació i/o han compartit dades i idees que encara no han estat publicades. Les figures d'aquest capítol han estat adaptades de treballs publicats recentment, per a la qual cosa s'ha comptat amb l'inestimable ajut dels autors Diego Macías, Eduard Serrano, Ana Sabatés, Antonio Canepa, Verónica Fuentes i Marta Coll.

11.2. Síntesi de l'evolució de variables fisicoquímiques de les aigües marines

11.2.1. Temperatura i nivell del mar

L'evolució d'aquestes dues variables tan crítiques en relació amb el canvi climàtic es descriu a l'apartat 4.7 del TICCC, on es proporcionen dades, sobretot, de la valuosa sèrie temporal de l'Estartit. En aquesta estació, gràcies a la dedicació de Josep Pascual, disposem de dades de la temperatura de l'aigua del mar a diferents profunditats des del 1974 i del nivell del mar des del 1990. En síntesi, aquestes dades mostren augments de temperatura d'entre 0,3°C i 0,19°C per decenni en els primers 50 m i a 80 m de profunditat, respectivament, i augments del nivell del mar de 3,9 cm de mitjana per decenni. Pel que fa a la pujada de la temperatura de la Mediterrània en general, cal tenir en compte l'existència de certa variabilitat cíclica natural. En un treball recent s'ha trobat força relació entre l'evolució de la temperatura i l'oscil·lació multidecennal de l'Atlàntic (AMO; Macías *et al.*, 2013). Segons aquest estudi, tan sols el 42 %, aproximadament, de l'escalfament observat en els darrers decennis hauria estat causat per motius antropogènics; la resta vindria modulada per l'AMO. Aquesta observació és important pel que fa a projeccions futures que mostren possibles atenuacions en l'escalfament i posteriors magnificacions causades per les oscil·lacions de l'AMO (figura 11.1).

11.2.2. Salinitat

A escala global, des de meitat del segle xx, les regions dels oceans amb més influència de les precipitacions n'han vist reduïda la salinitat, mentre que hi ha augmentat a les zones dominades per processos d'evaporació (Skiris *et al.*, 2014; Durack, 2015). A l'oceà Pacífic, per exemple, la salinitat ha disminuït, mentre que a l'oceà Atlàntic s'ha incrementat tant en superfície com en els primers 1.000 m de fondària. Durant aquest mateix període, la mar Mediterrània s'ha salinitzat progressivament, sobretot en les zones fondes: per sota dels 1.000 m, la mar Mediterrània és, de tots els oceans, on la salinitat ha augmentat de manera més dràstica (> 0,05 PSS del 1950 al 2010 entre 1.000 i 1.500 m; Borghini *et al.*, 2014; Skiris *et al.*, 2014). En aigües superficials, aquesta tendència cap a la salinització no és tan clara i evident com en les zones fondes (Vargas-Yáñez *et al.*, 2010, 2012). En aquests increments de salinitat de la

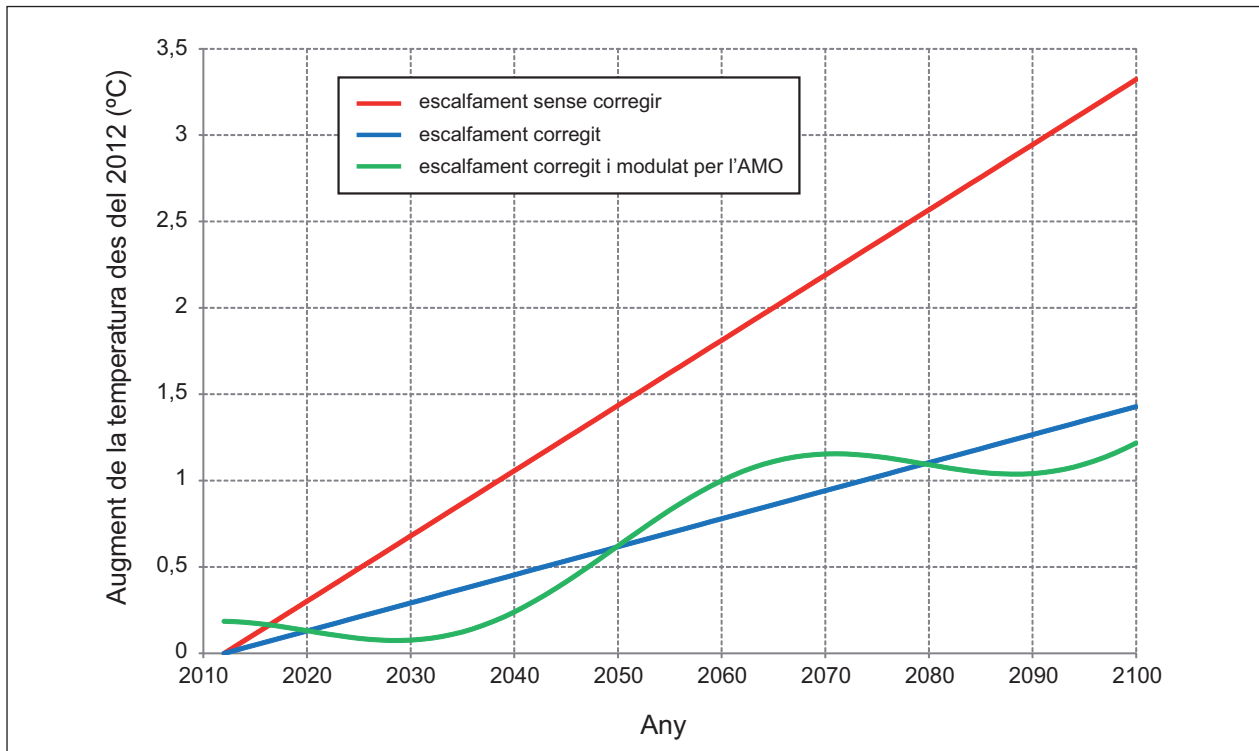


FIGURA 11.1. Projeccions en l'evolució de la temperatura superficial marina segons tres escenaris: en vermell, escalfament extrapolat linealment sobre la base de l'escalfament dels darrers vint-i-cinc anys; en blau, escalfament extrapolat linealment assumint que només, aproximadament, el 42 % de l'escalfament dels darrers vint-i-cinc anys és antropogènic; en verd, escalfament tenint en compte la dependència de la temperatura amb l'AMO.

Mediterrània tenen un paper fonamental processos com els esdeveniments hivernals de formació d'aigua profunda que transfereixen salinitat de la superfície cap al fons (Borghini *et al.*, 2014), una disminució general de les precipitacions, l'augment de l'evaporació i la minva del cabal dels rius que hi desemboquen per causa de la construcció de preses i embassaments (Simó *et al.*, 2010). Pel que fa a projeccions de futur, per bé que en general per a la Mediterrània s'apunta a un increment continuat de la salinitat, la zona de la mar catalana és una excepció on, segons quina sigui la simulació, es projecten increments o disminucions de la salinitat (Adloff *et al.*, 2015).

11.2.3. pH

Tal com es va introduir al SICCC (Simó *et al.*, 2010), l'augment del contingut de CO_2 a l'atmosfera a causa de les activitats antròpiques, a banda d'escalfar el planeta a través de l'efecte d'hivernacle, també provoca una acidificació progressiva de les aigües dels mars i els oceans. Aquesta acidificació (o disminució del pH) ha estat causada pel fet que part d'aquest excés de CO_2 atmosfèric es dissol

en l'aigua de mar, on participa en una sèrie de reaccions químiques del sistema carbònic-carbonat. Des de la revolució industrial, hom calcula que el pH de la superfície dels oceans ja ha disminuït en 0,1 unitat. A finals d'aquest segle, i segons les quantitats de combustibles fòssils que es cremin, aquest pH podria disminuir entre 0,1 i 0,4 unitats més (Gattuso *et al.*, 2015). Els possibles efectes d'aquesta acidificació en els organismes marins són molt diversos i variats. Hi ha un gran consens científic que, en el cas dels organismes amb l'esquelet o la closca de carbonat càlcic, com les algues coral·linals, els mol·luscs (musclos, cloïsses, caragols), els crustacis (llagostes, crancs) o molts coralls, l'acidificació en perjudicarà el creixement (Kroeker *et al.*, 2010).

Pel que fa a mesures instrumentals de pH, hi ha algunes sèries temporals a mar oberta que mostren aquesta progressiva acidificació, per exemple a les illes Canàries, a les illes Bermudes o a Hawaii (Bates *et al.*, 2014). En zones costaneres, no obstant això, el pH també es veu modulad per altres paràmetres i, en general, presenta una gran

variabilitat, cosa que fa més difícil de detectar l'esperada baixada progressiva del pH. A la Mediterrània, a les sèries instrumentals existents encara no es pot detectar una tendència clara d'acidificació. A les illes Medes i a Blanes, per exemple, els mesuraments que realitza periòdicament l'Institut de Ciències del Mar no mostren encara cap tendència clara que es distingeixi del típic cicle anual (Pelejero *et al.*, en preparació). Existeixen, no obstant això, algunes estimacions pel que fa al grau d'acidificació que està tenint lloc a la Mediterrània. Touratier i Goyet (2011) van suggerir que l'acidificació s'esdevenia més ràpidament en aquesta mar semitancada que als oceans globals; el pH hauria baixat ja en 0,14 unitats des de la revolució industrial. Un treball més recent, en canvi, indica que, tot i que la penetració de CO₂ antropogènic a la Mediterrània és més ràpida que a l'oceà global, aquesta no es tradueix en una acidificació més intensa (Palmiéri *et al.*, 2015). Sembla que l'elevada salinitat i alcalinitat de les aigües de la Mediterrània ajuden a absorbir més CO₂, però també el neutralitzen amb més eficàcia.

11.2.4. Nutrients

En conjunt, la Mediterrània és una mar amb tendència a l'oligotrofia. L'època de l'any en què hi ha més empobriment en nutrients (entre final de la primavera i principi de la tardor) s'allargarà a causa del progressiu enfortiment de l'estratificació per escalfament (Calvo *et al.*, 2011). Al litoral, tanmateix, la tendència és una altra perquè els efectes antròpics directes hi són més importants que els climàtics. La població de la regió costanera no ha deixat d'augmentar, però l'aprofitament intensiu de les aigües continentals ha fet decreixer els cabals dels rius i els ha regularitzat. Les crescudes amb descàrrega a la mar, les quals arrossegaven enormes quantitats de nutrients, són molt menys habituals. A més, la descàrrega és menys energètica i la influència queda més restringida a prop de la costa. Tot i això, no hi ha evidència que el litoral català s'estigui eutrofitzant. El fosfat en les aigües continentals ha disminuït progressivament des del canvi en la composició dels detergents. L'ús del nitrat i d'altres formes de nitrogen com ara els adobs agrícoles ha augmentat, però les tècniques de reg localitzat i la regulació de l'ús de purins ha aturat l'increment de la concentració d'aquest element en les aigües continentals. A més, la construcció

d'emissaris submarins ha permès d'enviar moltes aigües de depuració enllà de la costa, per sota de la termoclina, la qual cosa ha esmorteït l'efecte dels abocaments de nutrients en el litoral. El resultat de totes aquestes actuacions és que les concentracions de nitrat, amoni i silicat en les aigües litorals no mostren cap tendència significativa ni a l'alça ni a la baixa durant els últims vint-i-cinc anys en el conjunt del litoral (Flo *et al.*, 2010), mentre que les concentracions de fosfat mostren una tendència a la baixa (E. Flo, com. pers.). Val a dir, però, que les aigües confinades per ports, espigons i altres estructures artificials sí que afavoreixen la concentració local de nutrients perquè impedeixen la renovació de l'aigua i l'efecte de dilució que hi permet.

11.2.5. Corrents marins i barreja vertical

Tal com s'observa i es preveu a escala global, la columna d'aigua de la mar Mediterrània també presenta una tendència cap a una estratificació més significant (Calvo *et al.*, 2011; Herrmann *et al.*, 2014; Skliris, 2014). Això es deu a la pujada de la temperatura de l'aigua i, per tant, a la disminució de la densitat. Malgrat que, com hem indicat, la salinitat també té una tendència a augmentar i, per tant, a contrarestar en part l'efecte de la temperatura en el canvi de la densitat de l'aigua, sembla que es manté una certa tendència cap a una estratificació més gran. D'altra banda, aquests canvis en l'estratificació estan relacionats estretament amb la circulació termohalina de la mar Mediterrània. Aquesta circulació, que s'inicia amb la formació d'aigua profunda en determinades conques, ha experimentat canvis importants en els darrers decennis. Concretament, la conca de formació de les aigües més profundes a la Mediterrània oriental es va desplaçar, cap als anys noranta, de la mar Adriàtica a la mar Egea, la qual cosa va afectar en els anys següents els gradients de salinitat en fondària de tota la Mediterrània (Madron *et al.*, 2011). Més recentment, després dels hiverns del 2004-2005 i del 2005-2006, durant els quals hi va haver una formació molt important d'aigües profundes al golf de Lleó, les propietats de les aigües profundes de la Mediterrània occidental han canviat de manera significativa i han guanyat densitat (Zunino *et al.*, 2012). Sembla que, per tant, la circulació termohalina de la mar Mediterrània no ha estat estacionària pel que fa als darrers decennis (Hassoun *et al.*, 2015). La relació entre aquests canvis en la

circulació i el canvi climàtic no és clara, ni tampoc les possibles tendències futures, dos aspectes essencials que caldrà estudiar a fons.

A la Mediterrània nord-occidental, la formació d'aigua profunda habitual als hiverns sovint té lloc en forma de cascades submarines d'aigües denses que comporten la transferència ràpida i massiva de matèria i d'energia cap a l'oceà profund (Puig *et al.*, 2013). Aquest procés recurrent, que es repeteix cada cinc-deu anys, oxigena i fertilitza les aigües profundes i té un impacte important en les comunitats biològiques que hi viuen. Això s'ha vist, per exemple, en el cas de la preuada gamba rosada (*Aristeus antennatus*; Company *et al.*, 2008): l'arribada de nutrients als 1.000 metres per mitjà del fenomen de cascades és important per al creixement durant la fase juvenil. Hom ha vist que els episodis de formació de cascades submarines es tradueixen en un col·lapse temporal de la pesca d'aquesta espècie, la qual triga a recuperar-se de tres a cinc anys (Company *et al.*, 2008). També hi ha indicacions d'efectes d'aquests processos de formació d'aigües profundes en la dinàmica del plàncton i en els nutrients en els ecosistemes costaners (Arín *et al.*, 2013) Aquests episodis es desencadenen, sobretot, durant hiverns freds i secs amb poca descàrrega fluvial, que afavoreixen l'enfonsament d'aigües denses. Duen, per tant, un clar component climàtic. No obstant això, l'evolució amb el canvi climàtic no és del tot clara.

11.3. Vulnerabilitat de comunitats mediterrànies d'elevada biodiversitat

11.3.1. Coral·ligen

La comunitat del coral·ligen, exclusiva de la Mediterrània, és constituïda principalment per l'acumulació d'algues calcàries incrustants esciòfiles (que creixen en condicions de poca llum), i que formen un substrat dur de 20 a 120 metres de profunditat, especialment en el nivell circalitoral (Gili i Ros, 1984; Ballesteros, 2006). Aquestes concrecions algals recobreixen parets verticals o gairebé, voladissos o substrats horitzontals de graves organògenes o grapissar, amb gruixos que van de pocs centímetres a tres o quatre metres i que tenen una estructura complexa, la qual ha estat comparada amb la pasta fullada (les capes successives de creixement de les

algues) i amb un formatge d'Emmental (per la quantitat de cavitats que la solquen). Sobre aquesta estructura creixen algues esciòfiles toves, invertebrats sèssils suspensívors, incrustants o no, i s'hi mouen espècies vàgils que hi troben aliment i recer. Dins l'estructura viuen altres espècies, algunes de les quals la perforen, amb la qual cosa s'estableix un equilibri inestable entre el creixement de l'estructura, causat per les algues i els invertebrats incrustants, i la destrucció, causada pels organismes perforadors, pels temporals ocasionalment forts i pel pes de la massa del coral·ligen.

La biodiversitat de la comunitat coral·ligena és molt alta i s'hi han identificat fins a 1.666 espècies de cianòfits, algues, protists, invertebrats i peixos (Ballesteros, 2006; Simó *et al.*, 2010), encara que es tracta d'una estimació conservadora. Un bon nombre d'aquestes espècies es poden considerar en perill a causa del valor gastronòmic o decoratiu i n'hi ha que són objecte de diverses mesures de protecció. Cal esmentar l'herbacol (*Laminaria rodriguezii*), el corall vermell (*Corallium rubrum*), diverses espècies de gorgònies, els mol·luscs (*Lithophaga lithophaga*, *Pinna* spp.), els crustacis (com ara *Scyllarides latus*) i diverses espècies de peixos. L'estructura complexa del coral·ligen, de la massa de concrecions i, alhora, dels organismes que s'hi instal·len a sobre (com ara les gorgònies i altres espècies que sovint constitueixen «boscos» amb diferents «estrats»), i l'elevada diversitat específica constitueixen una rica xarxa d'interrelacions ecològiques, les quals comencen per l'epibiosi, que és la generadora de la comunitat. Tant l'epibiosi, que provoca competència per l'espai físic, per la llum (en el cas de les algues) i pel volum d'aigua per filtrar (en el dels suspensívors), com els diversos sistemes de defensa antidepredadors de què gaudeixen moltes espècies, han originat nombrosos exemples de guerra química mitjançant la producció de substàncies actives. Altres interrelacions ecològiques entre espècies del coral·ligen es troben dins dels fenòmens de simbiosi, parasitisme, mutualisme i comensalisme (Ballesteros, 2006).

Malgrat això, el coral·ligen és, també, una comunitat molt vulnerable: els impactes de la pesca de ròssec i d'altres arts, de l'ancoratge d'embarcacions i d'altres tipus de destrucció mecànica com el «trepig»

dels escafandristes, l'efecte de diferents tipus de contaminants i de les espècies exòtiques invasores són altres tants efectes de degradació del coralligen (Ballesteros, 2006; Piazzini *et al.*, 2012).

Però l'impacte més important està relacionat amb el canvi climàtic i amb els episodis d'escalfament de les aigües superficials i subsuperficials perllongats més enllà del que és comú en el pas de l'època estival a l'autumnal, amb el retard consegüent de la barreja vertical de les aigües i el trencament de la termoclina. Això produeix mortaldats, especialment de les espècies d'invertebrats suspensívors. No repetirem aquí allò que ja es va comentar de manera relativament extensa en el SICCC: la situació no ha canviat, per bé que s'han fet nous estudis i hi ha noves dades, en especial de les conseqüències d'aquests episodis i de la velocitat de recuperació dels fons afectats pels episodis de morts en massa (Cebrian *et al.*, 2011; Crisci *et al.*, 2011; Ponti *et al.*, 2014; Pairaud *et al.*, 2014; Di Camillo i Cerrano, 2015; etc.). Aquests, en resum, indiquen la lenta recuperació dels «boscors» de suspensívors (especialment, de gorgònies), fet que té efectes importants en la capacitat reproductiva i en els primers estadis de vida d'aquests organismes (Kipson *et al.*, 2012; Arizmendi-Mejía *et al.*, 2015), cosa que es tradueix en una encara més baixa taxa de reclutament i d'altres conseqüències derivades de l'alteració, a vegades molt dràstica, de l'estructura de la comunitat, amb canvis que van des de la dominància d'espècies estructurals i longeves en les situacions no impactades fins a espècies de creixement ràpid amb menys complexitat estructural (Ponti *et al.*, 2014; Di Camillo i Cerrano, 2015). Cal esmentar aquí els efectes dels episodis d'escalfament notable en *Cladocora caespitosa*, l'únic corall escleractiniari amb algues simbiotes i constructor d'esculls a la Mediterrània, els quals han estat ben estudiats a l'arxipèlag dels Columbrets (Kersting i Linares, 2012). Un estudi de més d'una desena d'anys (Kersting *et al.*, 2013) posa de manifest l'estreta correlació entre els episodis de mortaldat d'aquest corall i els augments de la temperatura superficial de l'aigua, amb necrosi dels teixits tous, els quals es van fer més importants després de l'episodi d'escalfament excepcional de l'estiu de 2003, i mantenint, també, la sospita que altres factors d'estrès, com ara les algues invasores que

afecten aquesta espècie (Kersting *et al.*, 2014), poden tenir-hi un efecte sinèrgic.

11.3.2. Alguers de Posidonia

Posidonia oceanica, l'altina o alga, és una fanerògama marina, endèmica de la Mediterrània que forma alguers en l'estatge infralitoral, sobre fons sorrencs i a profunditats que van des de pràcticament la superfície de l'aigua fins a una quarantena de metres, segons quina sigui la transparència de les aigües. Altres herbes marines mediterrànies, com *Cymodocea nodosa*, formen, així mateix, alguers submergits, més esparsos i amb funcions ecosistèmiques no tan notables com les de *Posidonia* (Larkum *et al.*, 2006; Boudouresque i Meinesz, 1982).

Posidonia té arrels, rizomes que creixen verticalment o horitzontal sobre el fons, fulles acintades disposades en feixos i floreix i fructifica. La xarxa de rizomes i el sediment i la matèria orgànica que retenen constitueixen un substrat organogen (la mata) sobre el qual s'instal·len organismes més propis dels fons durs que dels tous. A més d'aquesta modificació del medi, l'herbei ofereix refugi a peixos i a altres animals alhora que és un suport per a organismes epibionts molt diversos. L'alguer de *P. oceanica* capta partícules en suspensió en l'aigua, estabilitza els sediments i protegeix així el litoral. És un embornal de carboni (TICCC, apartat 3.3) i del reciclatge de nutrients. Molts animals hi fresen i hi troben aliment, i l'excés de producció (els aproximadament 400 g C m⁻² any⁻¹ que produeix l'herbei estan constituïts per materials difícilment degradables pels organismes marins, la qual cosa vol dir que tenen una vida molt llarga al medi) és exportat a la part emergida del litoral (on forma amuntegaments ben característics en forma de «fullaraca» acumulada a les platges, els quals serveixen com a aliment i recer per als descomponedors del litoral emergit) i a les zones més profundes, sovint molt pregones, on constitueix una entrada alimentària no gens negligible en un ambient fosc i mancat de producció primària.

El paper ecològic de l'alguer de *P. oceanica* és, doncs, força important, però a tota la Mediterrània els alguers estan sotmesos a amenaces que els degraden de manera diversa i fan que es tro-

bin en regressió (per això mateix, l'espècie està protegida, si més no sobre el paper, en els països de tota la conca). Algunes d'aquestes amenaces provenen de la dinàmica natural del litoral: els temporals forts poden descalçar les parts més superficials de l'alguer; les avingudes dels rius, amb aportacions massives de sediments, poden soterrar àrees extensíssimes; oscil·lacions naturals en l'abundància dels herbívors o dels depredadors de les espècies epibionts i de les que roseguen fulles poden tenir una incidència notable en les variacions temporals en l'extensió i la salut de l'alguer. Les mateixes variacions en el nivell del mar al llarg dels temps geològics més recents, causades pels moviments tel·lúrics ràpids o pels canvis climàtics lents, que influeixen en la proporció relativa d'aigua líquida i sòlida, han deixat al descobert, o han sepultat, alternativament, alguers d'aquesta espècie.

Però l'alguer de *P. oceanica* també és una de les comunitats marines més amenaçades per les activitats humanes. Cal esmentar la modificació de les aportacions sedimentàries (per la construcció d'estructures litorals, per la reducció dels cabals fluvials, per la «regeneració» de platges, etc.), les quals poden colgar o descalçar l'alguer. Així mateix, el «trepig» de persones i de les embarcacions en els alguers més superficials i l'efecte de l'ancoratge de les embarcacions o del pas de xarxes de ròssec sobre els més profunds és particularment negatiu. Cal afegir-hi la contaminació de les aigües litorals: *P. oceanica* és un bon acumulador de tota classe de substàncies, moltes de les quals són tòxiques. L'augment de la temperatura de l'aigua i la pujada del nivell del mar, entre altres modificacions ambientals causades pel canvi climàtic, podrien tenir una influència negativa en aquesta espècie d'herba marina.

Segons el tipus de litoral, la pujada del nivell del mar afectarà més o menys l'alguer de *Posidonia*; ja hem esmentat que el límit inferior és determinat pel grau d'il·luminació, que es reduirà si l'alçada de la columna d'aigua s'incrementa. Pel que fa al nivell superior, si el substrat envaït per les aigües és adient (sorrals, marjals, etc.), és raonable pensar que la praderia els anirà ocupant, fet que compensarà, en certa manera, les pèrdues en profunditat. Però si no ho és (penya-segats,

obra viva, fangars, etc.), aquest creixement que segueix terra endins la reculada del litoral no ocorrerà i hi haurà una pèrdua de superfície de l'alguer. En qualsevol cas, el ritme de creixement horitzontal de l'alguer és molt lent (hi ha clarianes en alguers del litoral francès, causades per bombardejos durant la Segona Guerra Mundial, que encara no s'han tancat), previsiblement més que el de pujada del nivell del mar.

No obstant això, la pujada del nivell del mar no és l'únic efecte del canvi climàtic. Cal considerar, entre d'altres, l'augment de la temperatura i l'acidificació de l'aigua de la mar. Per bé que, d'una manera general, la pujada de les temperatures pot tenir per a *Posidonia* el mateix efecte que per a altres espècies pel que fa al desplaçament i l'ocupació d'espais anteriorment vedats per haver estat massa freds i la mort i abandonament de fons excessivament caldejats (Marbà i Duarte, 2010), cal recordar que la Mediterrània és una mar tancada i que aquesta eventual migració cap al nord quedaria frenada per la barrera continental (Burrows *et al.*, 2011).

Així mateix, l'espècie *P. oceanica* està subjecta a canvis demogràfics i metabòlics directament relacionats amb l'augment de temperatura. Les projeccions que s'han fet pel que fa a l'augment gradual previst de la temperatura (que arribarà a superar els 28 °C de l'aigua superficial, que és la temperatura crítica per sobre de la qual la mortalitat de *Posidonia* augmenta molt), així com pel que fa a l'augment de la freqüència dels episodis d'increment extrem de la temperatura (onades de calor), indiquen que a mitjan segle XXI (el 2049, deu anys amunt, deu anys avall) l'alguer de *P. oceanica* pot estar funcionalment extingit (es considera que això s'esdevé quan la densitat dels feixos foliars baixa per sota del 10 % de l'actual; Jordà *et al.*, 2012).

Aquests autors plantegen diferents escenaris futurs (amb escalfament o sense, amb les pressions antropogèniques esmentades més amunt o sense) i en qualsevol dels escenaris, els alguers de *Posidonia* assoleixen aquesta densitat incompatible amb la supervivència abans del segle XXI.

Així mateix, l'augment de la temperatura altera la taxa de mineralització del carboni i del nitrogen (Pedersen *et al.*, 2011): s'incrementa entre 15 i

25 °C, però es redueix per sobre de 25 °C. El resultat és que el paper d'embornal de CO₂ de l'herbei s'inverteix a temperatures altes, i l'alliberament de diòxid de carboni augmenta.

Encara cal considerar que podria ser que alguns macròfits que competeixen amb *P. oceanica*, principalment espècies al·lòctones d'origen tropical i subtropical, tinguessin avantatges en detriment de l'herba autòctona en un escenari d'escalfament com el previst. A més a més, l'altina té poca capacitat d'adaptació i poca resiliència, en consonància amb unes taxes mutacional i evolutiva baixes i amb un creixement molt lent (1 cm any⁻¹) i una baixíssima diversitat genètica. De fet, els herbeis són clons estesos sobre grans superfícies.

11.4. Canvis en relació amb l'espècie

11.4.1. Algues

Al capítol sobre els ecosistemes marins del SICCC (Simó *et al.*, 2010) vam dedicar un apartat als productors primaris del plàncton, perquè aquests organismes són responsables d'aproximadament la meitat de la producció primària (fixació de carboni) de la Terra i són la base de la xarxa tròfica de l'ecosistema pelàgic. Aquest apartat sintetitza breument les noves dades sobre tendències en la productivitat primària, la dinàmica de les algues microscòpiques i alguns apunts sobre macroalgues en relació amb el canvi climàtic. Pel que fa al cas particular de les algues dinoflagel·lades tòxiques, aquest capítol hi dedica específicament un apartat (11.5.2).

Com s'ha esmentat anteriorment, una conseqüència esperable de l'escalfament global és l'augment de l'estratificació de les aigües i la disminució de la barreja vertical. Això hauria d'anar acompanyat d'una reducció de la productivitat primària. En zones interiors de la Mediterrània, estimacions de clorofil·la basades en imatges de satèl·lit apunten cap a aquesta direcció (Barale *et al.*, 2008). No obstant això, en zones concretes de la Mediterrània, com per exemple a la mar Lígur, hom ha observat la tendència oposada (Marty i Chiavérini, 2010) i ha suggerit que la productivitat primària de la Mediterrània nord-occidental més aviat s'està incrementant. De fet, en aquest treball es relaciona aquest augment amb la intensitat més

força dels episodis de barreja profunda esdevinguts entre el 2003 i el 2006 (comentats a l'apartat 11.2.5) i amb la més gran disponibilitat de nutrients que se'n deriva. Resultats recents de models també apunten cap a un increment de la clorofil·la pel que fa al futur, sobretot associat als períodes de barreja vertical típics de l'hivern i de principi de la primavera (Herrmann *et al.*, 2014). Tanmateix, segons aquest estudi, l'augment de la clorofil·la no es traduiria en un increment de la biomassa de fitoplàncton. La productivitat primària bruta (biomassa total sintetitzada) sí que creixeria, sobretot a causa de l'augment de temperatura, però la producció primària neta, un cop restada la biomassa consumida en processos catabòlics (respiració), es mantindria sense canvis significatius. Altres treballs basats en models apunten cap a aquesta mateixa direcció (Lazarri *et al.*, 2014).

Pel que fa a organismes concrets, tal com es comenta al SICCC (Simó *et al.*, 2010) i projecten els models (Herrmann *et al.*, 2014), les condicions hidrodinàmiques futures haurien d'afavorir les espècies del fitoplàncton més petites, sobretot les del picofitoplàncton, les quals haurien de proliferar amb més abundància, sobretot durant el període d'estratificació de l'estiu i la tardor. No obstant això, dins d'aquest grup les poblacions de *Synechococcus* i *Prochlorococcus*, els bacteris marins que es comporten ecològicament com les algues, encara no manifesten canvis significatius, probablement perquè tenen una enorme diversitat genètica (Mella-Flores *et al.*, 2011). Pel que fa a les algues cocolitoforals, hom esperaria que, a causa de la vulnerabilitat de les estructures calcàries, es veiessin afectades per l'acidificació. Encara que hi ha un gran debat pel que fa a la repercussió real (Meyer i Riebesell, 2015), un treball recent basat en trampes de sediment mostra que durant els darrers dotze anys el gruix dels cocòlits (closquetes calcàries) d'aquestes algues ha disminuït progressivament, potser a causa de l'acidificació (Meier *et al.*, 2014).

Les macroalgues de la Mediterrània presenten una alta diversitat. Dins d'aquest grup s'han descrit importants davallades en determinades poblacions, com per exemple en les fucals (Thibaut *et al.*, 2005), que són importants espècies estructurals, formadores d'hàbitat per a una bona quantitat d'altres organismes. Algunes fucals, com per exemple

les algues endèmiques del gènere *Cystoseira*, són vulnerables a diversos factors de pressió, com ara l'augment de turbulència de l'aigua, la contaminació, la competència amb altres espècies (com ara els mol·luscs), la depredació (equinoderms), i les interaccions entre elles. Entre tanta complexitat es fa difícil discernir el possible efecte del canvi climàtic, encara que és raonable suposar, tanmateix, que l'exposició a totes aquestes pressions incrementa la vulnerabilitat al canvi climàtic d'aquests organismes. Durant el violent temporal del dia de Sant Esteve del 2008, en algunes zones de la costa del Montgrí s'hi van produir mortalitats de fins al 80 %, cosa que evidenciava la importància dels esdeveniments catastròfics en el manteniment d'aquestes poblacions de creixement lent (Navarro *et al.*, 2011).

D'altra banda, la progressiva acidificació dels oceans (vegeu l'apartat 11.2.4) podria afectar negativament el creixement de les algues incrustants, les quals formen estructures de calcita rica en magnesi especialment solubles. Això s'observa, per exemple, en zones afectades per emanacions de CO₂ d'origen volcànic, les quals presenten gradients naturals de pH que permeten realitzar observacions de canvis poblacionals *in situ*. Als voltants de l'illa d'Ischia, al sud d'Itàlia, s'ha constatat l'afectació de la disminució del pH en el desenvolupament de les algues incrustants (Porzio *et al.*, 2011), efecte semblant a l'observat als Columbrets (Linares *et al.*, 2015). Per contra, la major part de macroalgues no incrustants sembla que no es veuran afectades de manera important per aquest fenomen o, fins i tot, es veuran afavorides (Linares *et al.*, 2015).

11.4.2. Invertebrats

Tot complementant el que s'ha esmentat a l'apartat 11.3.1 en relació amb el coral·ligen i els episodis de mortalitat massiva associats amb l'escalfament, a continuació sintetitzem algunes evidències dels efectes del canvi climàtic en espècies concretes d'invertebrats. S'han estudiat, per exemple, els efectes de l'escalfament en coralls temperats, i un dels patrons que s'ha trobat és que les espècies que viuen associades amb simbiotes (zooxantel·les) són més sensibles a l'augment de la temperatura (Caroselli i Gofredo, 2014). Aquest patró, observat, per exemple, tot comparant els coralls *Leptopsammia pruvoti* (sense simbiotes) i *Balanophyllia europaea* (amb simbiotes), sembla

que es deu a balanços energètics. L'escalfament dificultaria la fotosíntesi de les zooxantel·les i n'inhibiria el creixement. Altres espècies es veuen afavorides per l'escalfament, com és el cas d'*Oculina patagonica*, que, curiosament, presenta simbiotes. Un estudi recent al llarg de la costa catalana ha constatat la ràpida expansió d'aquesta espècie cap al nord durant els últims vint anys, a una velocitat de 22 km/any (figura 11.2; Serrano *et al.*, 2013). Aquesta és l'expansió més ràpida descrita fins ara en els coralls. Una de les causes principals d'aquesta expansió sembla que és la pujada de les temperatures i la consegüent extensió de l'època favorable per al creixement. Cal esperar, tanmateix, que a partir de determinats llindars de temperatura aquesta espècie es vegi perjudicada (Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2014), tal com passa amb els altres tipus de coralls de la mar Mediterrània (Kersting *et al.*, 2013).

Uns altres invertebrats emblemàtics del litoral mediterrani són les gorgònies, molt vulnerables també al canvi climàtic. Un estudi recent ha posat de manifest la importància de l'històric tèrmic en la vulnerabilitat a l'escalfament regional d'aquestes espècies (Linares *et al.*, 2013). És el cas de la gorgònia blanca (*Eunicella singularis*), ja que les poblacions menorquines d'aquesta espècie, que viuen en un ambient més càlid, resisteixen millor l'escalfament que les poblacions de les illes Medes. Per a aquesta espècie, que és l'única gorgònia amb simbiotes de la Mediterrània, un trasbals en els balanços energètics associats amb autotròfia (fotosíntesi a través dels simbiotes) i heterotròfia (ingesta de zooplàncton) n'explicarien, en part, la vulnerabilitat a l'escalfament (Coma *et al.*, 2015). En el cas del corall vermell (*C. rubrum*) les poblacions més superficials toleren millor l'escalfament que les que viuen en fondària (Haguenaer *et al.*, 2013).

Pel que fa a altres invertebrats, com ara els mol·luscs i els crustacis, una evidència d'efectes de l'escalfament de les aigües és la proliferació d'espècies exòtiques, tant lessepsianes (procedents de la mar Roja) com introduïdes accidentalment amb aigües de llast o activitats d'aqüicultura, que acostumen a ser termòfiles. D'altra banda, de manera similar al que s'ha descrit en referència a la zona del golf de Thermaikos, a Grècia (Michaelidis *et al.*, 2014), l'escalfament progressiu de les aigües po-

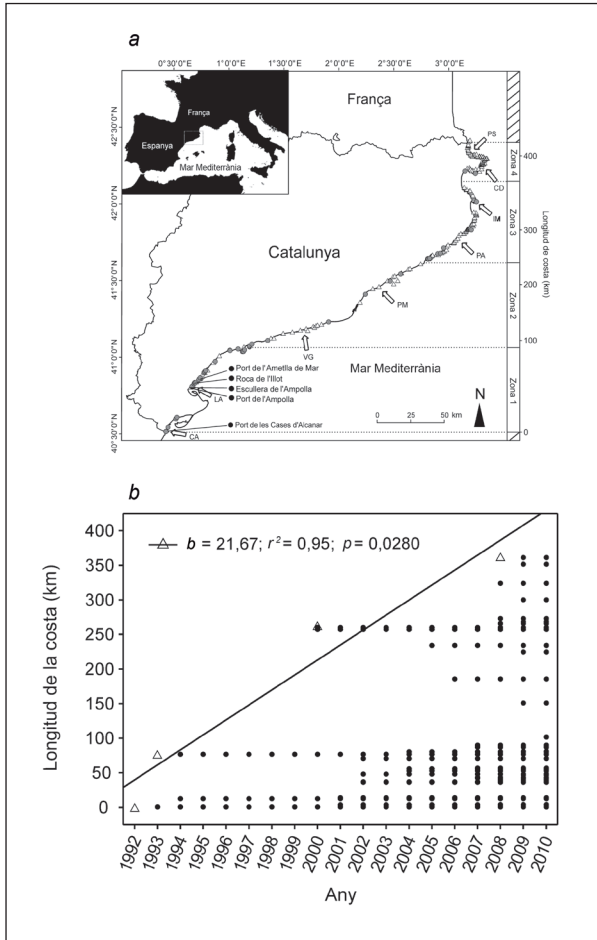


FIGURA 11.2. a) Zones al llarg de la costa catalana on es duu a terme el seguiment d'*O. patagonica*, i b) avistaments d'aquesta espècie al llarg del temps, en funció de la distància des de l'extrem del sud.

Font: Adaptat de Serrano *et al.*, 2013.

dria agreujar els episodis recurrents de calor que perjudiquen la cria del musclo (*Mytilus galloprovincialis*) al delta de l'Ebre. L'estiu del 2015, les temperatures elevades van acabar amb la totalitat de la cria de musclo a la badia dels Alfacs i amb una part de la cria de la punta del Fangar. Es pot trobar més informació sobre impactes del canvi climàtic en les pesqueres de mol·luscs al capítol 13 (apartat 13.2.1) d'aquest INFORME. Cebrian *et al.* (2011) han constatat mortalitats causades per l'escalfament en determinades espècies d'esponges. Pel que fa a les meduses, en aquest capítol els dediquem un apartat (11.5.1) a causa de l'important impacte social que tenen.

A banda de l'escalfament, l'acidificació marina és també una pressió ambiental amb possibles efectes en els invertebrats, sobretot els que construeixen un esquelet o una closca calcària.

De moment, les evidències d'efectes en organismes de la Mediterrània nord-occidental són experimentals i han estat obtingudes en estudis realitzats en aquaris o en zones afectades per l'emanació de CO₂ d'origen volcànic. En general, la major part d'aquests treballs apunta cap a efectes perjudicials, de reducció de la calcificació, per exemple, en els coralls *Cladocora caespitosa* i *O. patagonica* (Movilla *et al.*, 2012) o en el corall vermell *C. rubrum* (Bramanti *et al.*, 2013). Pel que fa als mol·luscs i crustacis, els efectes de l'acidificació varien força segons l'espècie, però els més afectats serien, sobretot, els estadis larvals (Gazeau *et al.*, 2013; Dissanayake 2014).

11.4.3. Peixos

Tal com es va discutir al SICCC (Simó *et al.*, 2010), en la variabilitat de la ictiofauna no és fàcil discernir els fenòmens associats a factors climàtics dels que estan associats a l'impacte humà directe (per exemple, l'explotació pesquera). Així i tot, la variabilitat climàtica més recent, en correspondència amb l'escalfament global, està canviant els patrons de distribució geogràfica d'espècies a la Mediterrània occidental. Espècies més termòfiles, d'afinitat tropical i subtropical, que abans es trobaven a les costes nord-africanes i del llevant meridional peninsular, avancen progressivament cap a zones septentrionals de la costa catalana i la mar Lígur. Algun autor ha apuntat que la mar Mediterrània podria esdevenir al final de segle un cul de sac per a algunes espècies temperades, ja que la falta de sortides al nord n'impediria la migració cap a latituds més altes i fredes i en provocaria l'extinció (Ben Rais Lasram *et al.*, 2010). En aquest apartat, hom recull alguns trets i troballes importants en relació amb l'efecte del canvi climàtic en algunes espècies concretes, els quals han estat publicats després del SICCC. El capítol 13 adreça amb més profunditat els impactes en la pesca.

Un cas que ja comentàvem al SICCC és el del tallahams (*Pomatomus saltatrix*), que darrerament ha estat descrit amb més detall (Sabatés *et al.*, 2012; Villegas-Hernández *et al.*, 2015). Aquest peix, apreciat per practicants de la pesca esportiva, està augmentant en nombre a les aigües septentrionals de la Mediterrània nord-occidental, probablement perquè les condicions tèrmiques d'aquestes aigües

han superat un llindar que les fa favorables per la reproducció (Sabatés *et al.*, 2012). Les captures de tallahams a la Mediterrània occidental van despuntar, sobretot, cap als anys noranta. Si es comparen les captures a la zona del delta de l'Ebre, que és on avui dia es pesca més aquesta espècie, amb les dels ports del nord de Barcelona, s'observa clarament que aquestes darreres s'incrementen a partir de l'any 2000 (figura 11.3). Aquesta tendència cap al nord és encara més clara quan es normalitza pel nombre de vaixells (Roses i l'Escala, Villegas-Hernández *et al.*, 2015). A més, s'ha observat que el tallahams presenta un estat de salut més bo en aigües septentrionals i que els ovòcits de les femelles del golf de Roses són més grans que els del delta de l'Ebre (Villegas-Hernández *et al.*, 2015). A banda de l'efecte de la temperatura, és probable que la productivitat primària més destacable que

s'observa a la zona del golf de Lleó també afavoreixi aquesta expansió del tallahams cap al nord.

Una altra forta correlació entre poblacions de peixos i clima és la que s'ha trobat entre l'abundància de peixos pelàgics petits com ara la sardina (*Sardina pilchardus*) i el seitó (*Engraulis encrasicolus*) i la fase de l'oscil·lació de la Mediterrània occidental (WeMO, Martín *et al.*, 2012). Durant els períodes amb valors positius de WeMO, els quals s'associen amb baixes temperatures de l'aigua, altes descàrregues dels rius i forta barreja vertical de la columna d'aigua, les captures de sardina i seitó acostumen a ser més importants que durant períodes on aquest índex mostra valors negatius. En relació amb aquestes dues espècies, és important recalcar de nou l'expansió cap al nord d'un altre pelàgic petit, l'alatxa (*Sardinella aurita*), documen-

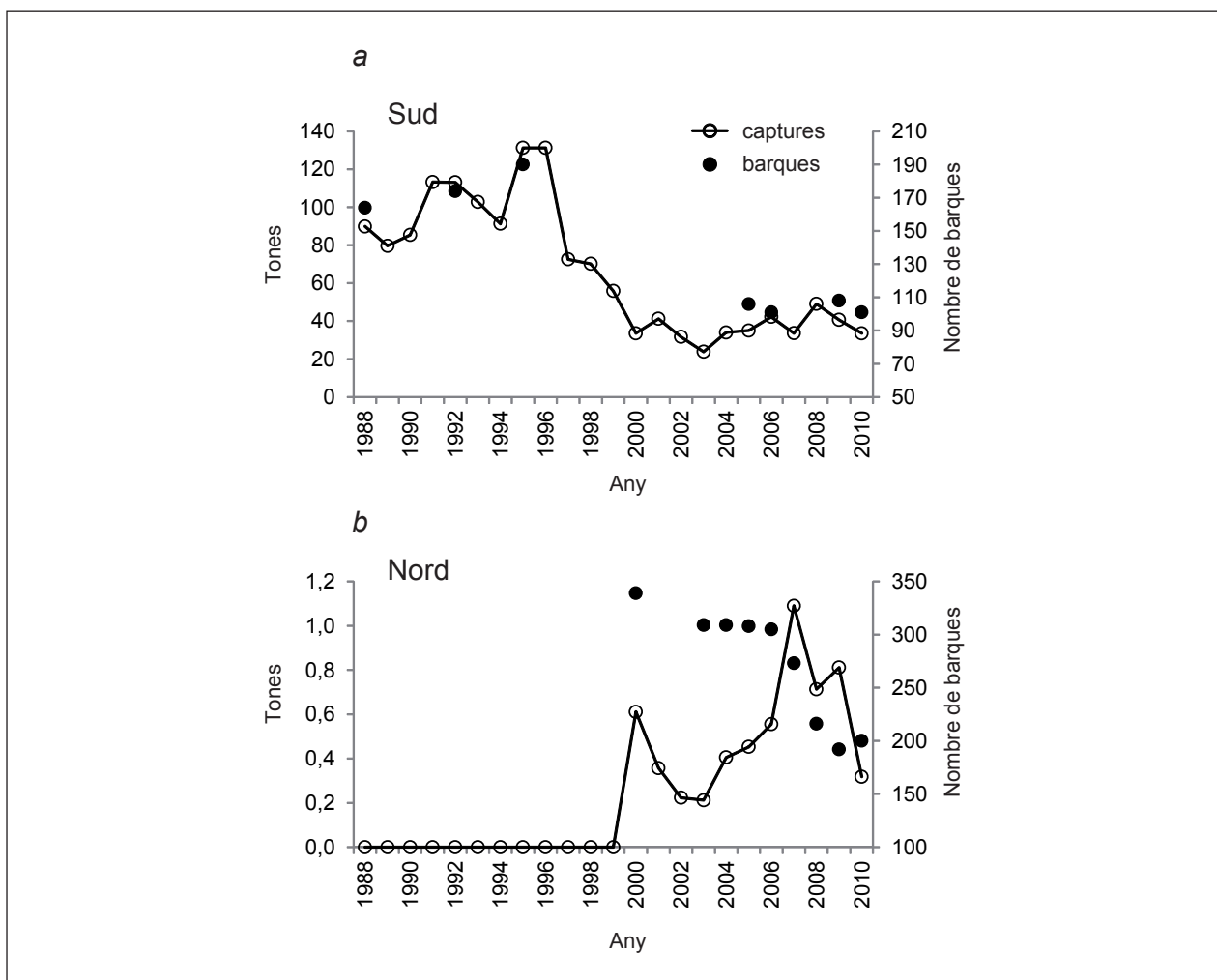


FIGURA 11.3. Captures de tallahams en ports al nord de Barcelona (nord) i al port de Sant Carles de la Ràpita (sud), i nombre de barques involucrades en les captures.

Font: Adaptada de Sabatés *et al.*, 2012.

tada a la Mediterrània nord-occidental (Sabatés *et al.*, 2006), que ja es va esmentar al SICCC. Com apunten Villegas-Hernández *et al.* (2015), el valor comercial de les captures podria minvar si les espècies termòfiles, com ara l'alatxa, incrementen les poblacions en detriment d'espècies temperades més preuades com ara la sardina i el seitó. De fet, tal com es va observar per comparació entre l'estiu del 2003 (excepcionalment càlid) i el del 2004 (temperatures properes a la mitjana), l'alatxa està més adaptada a les altes temperatures que el seitó (Maynou *et al.*, 2014). Com que, a diferència de la sardina, la reproducció d'aquestes dues espècies es duu a terme durant el mateix període de l'any (l'estiu) i totes dues espècies tenen dietes similars, és probable que competeixin pels recursos tròfics, tot i que la distribució més costanera de les larves d'alatxa en relació amb les de seitó podria contribuir a mantenir separades les poblacions de totes dues espècies (Sabatés *et al.*, 2013).

Amb la intenció d'avaluar amb objectivitat la manera com el canvi climàtic modula l'abundància i la diversitat d'espècies termòfiles i temperades, un treball recent ha combinat dades estadístiques de pesqueries, dades de coneixement i percepció dels pescadors i dades pel que fa a la reproducció (Lloret *et al.*, 2015). Aquesta aproximació ha permès constatar, per exemple, que alguns dels casos més clars de modulació climàtica són els del tallahams i de l'alatxa, mencionats anteriorment, però també el de l'espet de boca groga (*Sphyræna viridensis*), la palomida blanca (*Trachinotus ovatus*) i el peix de plata (*Argentina sphyraena*), el qual és una espècie temperada amb tendència a minvar en abundància. Pel que fa a *S. viridensis*, que últimament es troba prou freqüentment a la mar catalana, es creu que l'escalfament global el farà més competitiu que l'espet (*S. sphyraena*), que és l'espècie habitual als Països Catalans (Villegas-Hernández *et al.*, 2014).

Cal mencionar breument el cas dels peixos conill (tacat, *Siganus luridus*, i llis, *S. rivulatus*), dues espècies invasores provinents de la mar Roja (lessepsianes) que estan provocant canvis profunds en l'estructura de les comunitats i el paisatge a causa de l'herbivorisme accentuat (Vergés *et al.*, 2014). Aquestes espècies, molt abundants ja a la Mediterrània oriental, estan expandint l'àrea de

distribució i en el futur podrien arribar a la mar catalana. De fet, ja s'ha documentat l'avistament de dos individus de peix conill tacat al sud de França, a prop de Marsella.

11.5. Fenòmens amb impacte socioeconòmic directe

11.5.1. Proliferacions de meduses

Les meduses són organismes planctònics gelatinosos abundants a la Mediterrània i a tots els mars del planeta. Es poden acumular en eixams d'elevada densitat que, en determinades condicions, arriben fins al litoral. Com a membres del zooplàncton, tenen importància ecològica perquè són eficients capturadors de petits crustacis i larves de peixos, sobretot. Tanmateix, pel fet que són més conegudes és per les picades que fan a banyistes, pescadors i treballadors de l'aqüicultura i per la presència en xarxes de pesca i turbines, la qual cosa els ha posat l'etiqueta de «problema ambiental» (Calvo *et al.*, 2011).

Al litoral català, la medusa dominant i la que causa més alarma és *Pelagia noctiluca*. Aquesta espècie mostra una àmplia distribució, pot formar eixams de força densitat d'individus i fa una picada tòxica. Com ja apuntava el SICCC, a les aigües de Vilafranca de Mar, a la mar Lígur, les proliferacions de *P. noctiluca* van ser habituals entre el 1775 i el 1987, amb una periodicitat aproximada d'increment cada dotze anys. Dades més recents del mateix lloc, i d'altres del golf de Tunis i de les illes Balears, mostren que aquesta periodicitat s'ha escurçat, és a dir, que la freqüència ha augmentat (Daly Yahia *et al.*, 2010; Bernard *et al.*, 2011). Les dades del Programa de Seguiment de les Meduses a les Platges Catalanes, endegat per l'ACA i l'ICM-CSIC, també mostren una tendència a l'increment, però la durada de la sèrie és encara massa curta per a fer-les concloents (Gili *et al.*, 2010).

Com que són organismes que s'alimenten d'un altre plàncton, la reproducció i el creixement de les meduses es veuen afavorits en zones on la productivitat és més alta; a la mar catalana, això es correspon amb el front de corrents que es forma paral·lelament a la costa en direcció nord-sud, al límit de la plataforma continental (Sabatés *et al.*, 2010). L'increment de les temperatures hivernals

també n'afavoreix la reproducció i la permanència en aigües més superficials de la zona frontal. Si la falta de precipitacions i l'escalfament de l'aigua debiliten el front a principis d'estiu, el vent cap a terra acosta les meduses al litoral i, per tant, a les platges (figura 11.4). Dit d'una altra manera: les condicions que afavoreixen els eixams litorals de meduses i, en particular, els de *P. noctiluca*, són els hiverns suaus, la poca pluviositat, la calor a principis d'estiu, les pressions atmosfèriques elevades i el vent de xaloc o del sud-est (Canepa *et al.*, 2014).

Aquesta relació entre proliferacions de meduses a les platges i condicions climàtiques ja ens indica que aquest és un fenomen potencialment sensible al canvi climàtic. De fet, els treballs de Molinero *et al.* (2005; 2008) ja van proposar que els modes principals de variació del clima de l'Atlàntic expliquen bona part de la variabilitat de les abundàncies de meduses i, en especial, de *P. noctiluca*. Treballs posteriors han mostrat que, efectivament, els modes climàtics que provoquen hiverns suaus, primaveres poc plujoses i estius càlids afavoreixen la formació d'eixams de *P. noctiluca* i la permanència al litoral durant períodes més llargs (Daly Yahia *et al.*, 2010; Rosa *et al.*, 2013). Val a dir, però, que no totes les meduses segueixen els mateixos patrons, i que la diversitat taxonòmica duu associada una diversitat de comportaments en relació amb les condicions climàtiques (Brotz *et al.*, 2012; Condon *et al.*, 2013).

Cal tenir en compte que, a més de la meteorologia i el clima, hi ha altres factors que afavoreixen l'abundància de meduses. La proliferació d'estructures artificials (ports, espigons i trencaones) ofereix nous hàbitats a les meduses amb una fase de creixement bentònica (Duarte *et al.*, 2012). A més, la sobrepesca elimina els peixos que competi-

xen per l'aliment amb les meduses, i la pesca amb arts poc discriminatòries n'elimina els depredadors naturals (tortugues, aus i grans peixos carnívors).

Tot fa preveure, doncs, que l'escalfament progressiu de la Mediterrània nord-occidental i la tropicalització del clima, amb hiverns més càlids i estius més llargs i secs, juntament amb l'acció humana directa en la pesca i en l'estructura de la costa, faran que les meduses que afecten les activitats socioeconòmiques del litoral hi apareguin abans i hi romanguin més temps (Purcell *et al.*, 2012).

11.5.2. Proliferacions d'algues tòxiques

Les proliferacions de microalgues nocives o tòxiques (PAN) són un problema ambiental pel risc que signifiquen per a la salut humana i pels efectes que tenen en la qualitat i disponibilitat de productes alimentaris del mar i en l'ús recreatiu de les platges. Hom ha de distingir entre els efectes nocius derivats de la producció de toxines que agredeixen humans i peixos (com ara les procedents de les espècies dels gèneres *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Pseudo-nitzschia* i *Ostreopsis*) i els derivats d'acumulacions de biomassa tan altes que desoxigenen l'aigua o, simplement, en canvien el color o l'olor, com passa, per exemple, amb *Noctiluca* o amb les taques produïdes per *Alexandrium taylori* en algunes platges de la costa catalana (Garcés *et al.*, 2002). Les PAN litorals solen ser molt localitzades i, tot i que recurrents, molt difícils de predir. Els episodis poden durar des de dues o tres setmanes fins a dos mesos. En molts casos apareixen preferentment a l'estiu, però no solen tenir una estacionalitat clara i repetida.

Perquè s'esdevingui i s'observi un episodi de PAN, cal que hi hagi una confluència de condicions: la

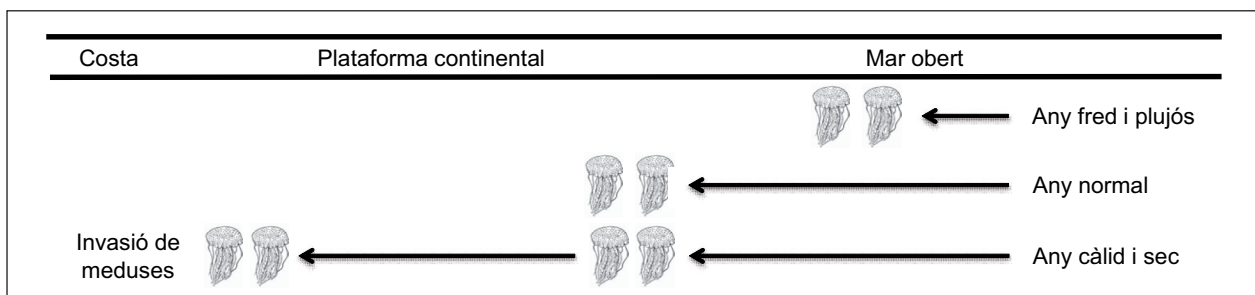


FIGURA 11.4. Proximitat i llunyania de la costa de les proliferacions de *P. noctiluca* en funció de les condicions climàtiques.

Font: Adaptada de Canepa *et al.*, 2014.

presència prèvia d'individus de la microalga, de nutrients i de llum suficients per a una explosió del creixement, cert confinament de les aigües que no en permeti la ràpida dispersió, l'afavoriment d'aquestes espècies en detriment d'altres i la detecció per observadors. Començant pel darrer punt, hi ha un cert consens que els avisos de PAN han augmentat arreu del món durant els últims decennis, però també que això pot haver estat perquè els programes de vigilància i les tècniques de detecció han millorat enormement (Legrand i Casotti, 2010). Pel que fa a la presència d'individus fins i tot quan les condicions són desfavorables, moltes de les espècies que fan PAN són dinoflagel·lades, amb capacitat per a formar cists de resistència que es refugien en els sediments mentre esperen l'arribada de condicions favorables. Les condicions favorables a les PAN són més probables en aigües confinades per estructures portuàries, recreatives o de protecció de la costa, estructures que aturen o desvien els corrents marins predominants, mantenen les poblacions algals agrupades i recullen i concentren els nutrients descarregats per les sortides d'aigua des de terra (Garcés i Camp, 2012). Pensem que, al litoral català, aquestes estructures que poden afavorir les PAN s'han multiplicat per quatre en els últims cinquanta anys: avui hi ha vora quaranta ports en 400 km de costa.

Pel que fa als factors purament climàtics, certament n'hi ha que afavoreixen la formació de PAN. D'una banda, l'escalfament progressiu de l'aigua afavoreix la implantació i recurrència d'algues pròpies d'aigües més càlides, algunes de les quals són tòxiques. És el cas, per exemple, d'*Ostreopsis*, una dinoflagel·lada epifítica productora d'una toxina que irrita pell, ulls i vies respiratòries, la distribució de la qual a les costes mediterrànies sembla que segueix un patró relacionat amb la temperatura, i n'hi ha una abundància màxima al voltant dels 27 °C (Cohu *et al.*, 2013). Malgrat que hi ha altres factors que n'influencien la proliferació, cal pensar que es veu beneficiada per l'escalfament regional (vegeu Vila *et al.*, 2012, en relació amb casos concrets de proliferació d'aquesta alga a la costa catalana).

El fet que el canvi climàtic enforteix l'estratificació i, per tant, fa disminuir la turbulència a prop de la

superfície ha d'afavorir les algues dinoflagel·lades, incloses les tòxiques, en detriment d'altres algues competidores o allargar-ne els episodis de condicions favorables (Moore *et al.*, 2008; Wells *et al.*, 2015). Dependrà, tanmateix, dels canvis que la variació climàtica provoqui en altres variables oceanogràfiques d'influència, com ara la intensitat i la direcció dels corrents o la freqüència d'episodis de fort onatge (Legrand i Casotti, 2010). En tot cas, la confluència de factors climàtics amb altres factors més directament lligats a l'activitat humana, com ara les descàrregues de nutrients i l'enginyeria de la costa, dificulten enormement la predicció de les tendències de les PAN amb el canvi climàtic.

11.6. Biodiversitat

La mar Mediterrània és un dels punts calents (*hot spots*) de biodiversitat del planeta, i hostatja una proporció molt més gran d'espècies d'organismes marins (entre el 4 i el 18 %, segons els grups) de la que li pertocaria si en tenim en compte les dimensions (que no arriben a l'1 % dels oceans; al 0,82 % de la superfície, i al 0,32 % del volum). Les causes d'aquesta elevada biodiversitat cal cercar-les en les característiques històriques (la Mediterrània és el que resta de l'antiga mar de Tetis, de la qual conserva algunes espècies relictas; ha rebut en moments diferents espècies atlàntiques, tant d'afinitats temperades-fredes com subtropicals i tropicals, i també migrants lessepsianes, i té un percentatge molt singular d'espècies neoendèmiques), en les característiques hidrogràfiques i en la posició que té com a interfície entre àrees biogeogràfiques que són seu de biomes temperats i tropicals (Coll *et al.*, 2010; Ben Haj i Limam, 2010; etc.).

Això explica que l'endemisme hi sigui elevat (20-30 % d'espècies, en funció dels diferents grups taxonòmics), més que a l'Atlàntic. La resta de la biota mediterrània té un fort component atlàntic (del 55 al 77 %, segons els grups) i uns components pantropical (del 3 al 10 %) i lessepsià (el 5 %) reduïts. Aquestes darreres espècies, que han arribat a la Mediterrània procedents de l'oceà Indopacífic a través del canal de Suez, són les que més probablement augmentaran en nombre (per l'ampliació recent del canal) i en distribució, a causa de la pujada de la temperatura, la qual afavoreix les espècies termòfiles. Cal tenir en compte que a la Mediterrània l'escalfament de les aigües es produ-

eix a una velocitat que és entre el doble i el triple de la de l'oceà global (Vargas-Yáñez *et al.*, 2008). També altres espècies al·lòctones que han arribat per altres vies (introducció d'espècies d'aquari o comercials, entrada associada al transport marítim en aigües de llast o en les incrustacions —*fouling*—, etc.) es podran veure afavorides; això suposarà una disminució relativa de la biota d'origen atlàntic i de l'endèmica.

Hi ha hagut diverses estimacions de l'impacte del canvi climàtic en la biota marina, tant qualitatives (Lejeusne *et al.*, 2010; Poloczanska *et al.*, 2013; Duarte, 2014) com quantitatives (Marbà *et al.*, 2015a, 2015b). Les conclusions són diverses: d'una banda, s'estima que l'impacte ja és elevat (Ros, 2009; Lejeusne *et al.*, 2010; Simó *et al.*, 2010; Calvo *et al.*, 2011; Duarte, 2014); de l'altra, són escasses les aproximacions quantitatives. Una d'aquestes (Marbà *et al.*, 2015a) fa una repassada de la bibliografia que esmenta canvis en la biota atribuïts a l'escalfament, bé a través de l'estudi de sèries temporals de dades, quan n'hi ha, o a conseqüència d'episodis puntuals d'augment extrem de la temperatura (onades de calor). Els canvis que han estat considerats són agrupats en diferents tipus de respostes, tant biològiques com ecològiques, i segons la magnitud: abundància, supervivència, fecunditat, migració, fenologia i creixement. Les dades aplegades per Marbà *et al.* (2015) tenen un clar component geogràfic que és invers als impactes reals: la major part provenen de la Mediterrània nord-occidental, on la tendència a l'increment de la temperatura és més baix que en la meridional i oriental, però que és on hi ha més centres de recerca i que investiguen des de fa més temps. La major part dels impactes de l'escalfament de la Mediterrània (68 %) es tradueixen en variacions en l'abundància poblacional i en la supervivència de les espècies considerades; la migració o el desplaçament de les espècies natives o al·lòctones (principalment lessepsianes) representen un 15 % dels estudis, mentre que els estudis referits a les altres respostes no són tan comuns. Pel que fa a la magnitud de l'impacte tèrmic, un escalfament reduït (50 % de probabilitat d'una anomalia de la temperatura superficial de l'aigua d'1 a 2,5 °C) ja té impacte en la fecunditat, la migració i l'abundància, mentre que calen escalfaments més importants (50 % de probabilitat d'una anomalia de la tem-

peratura superficial de l'aigua de 3 a 4,5 °C) per a causar un impacte en la fenologia i la supervivència. En conjunt, el 50 % dels impactes biològics en la mar Mediterrània tenen lloc si hi ha una anomalia de la temperatura superficial de l'aigua $\leq 4,5$ °C i a una temperatura de 27,5 °C. La major part d'impactes (53 %) afecten peixos i cnidaris, però molts altres grups també es veuen alterats: esponges, poliquets, mol·luscs, ascidis, briozous, equinoderms, crustacis, entre els invertebrats; rèptils i mamífers, entre els vertebrats; així com fitoplàncton i macròfits (macroalgues i fanerògames marines). Les espècies sèssils són més afectades que les vàgils, però ho són si hi ha anomalies tèrmiques més elevades; de fet, la supervivència és el tret més alterat. Les espècies vàgils i, concretament, els peixos, sobre els quals hi ha més informació (vegeu l'apartat 11.4.3, «Peixos»), mostren respostes a pujades relativament minses de la temperatura.

Les onades de calor, en especial les registrades els anys 1996, 1999 i 2003, van tenir un impacte molt gran en els organismes bentònics suspensívors (esponges, briozous, mol·luscs i, especialment, cnidaris: gorgònies; Garrabou *et al.*, 2009) que formen comunitats molt biodiverses (vegeu l'apartat 11.3.1). Les onades de calor provoquen clars increments de la mortalitat, mentre que l'augment gradual de la temperatura sembla afectar més l'abundància, la migració i la fenologia de les espècies (Marbà *et al.*, 2015a).

A més de l'efecte directe en els organismes, la pujada de la temperatura provoca alteracions en processos que també influeixen en la biota i les comunitats. Per exemple, l'estratificació estival de les aigües, que és més intensa i duradora a mesura que augmenta la temperatura (i que va ser una de les causes de les grans mortaldats de suspensívors durant els anys que hem indicat), significa un fre a l'entrada de nutrients en les aigües superficials, la qual només es trenca amb la barreja autumnal, i que la persistència de la termoclina fa endarrerir. Hom ha indicat també una reducció de la producció primària en l'oceà tropical i subtropical, així com una expansió dels girs subtropicals. D'altra banda, hi ha sinergies amb altres factors que afecten negativament la biota, com ara la contaminació.

En resum, Marbà *et al.* (2015a) conclouen que la biota de la mar Mediterrània és molt més sensible a l'escalfament que allò que es podria predir a partir només dels efectes metabòlics. A aquests efectes directes cal afegir els indirectes, entre ells l'aportació de nutrients i de processos físics i les sinergies amb altres tensions de l'ecosistema.

Tal com sintetitzen Coll *et al.* (2010), la biodiversitat dels ecosistemes marins a la Mediterrània es veu (i es veurà) afectada per una sèrie de factors antropogènics, alguns relacionats amb el clima, però d'altres no (figura 11.5).

11.7. Serveis ecosistèmics

Des del punt de vista dels beneficis per a la població humana del país, els ecosistemes marins proveeixen d'una sèrie de serveis que cal tenir molt en compte a l'hora d'anticipar les conseqüències del canvi climàtic. El mar contribueix a regular el clima i la disponibilitat d'aigua dolça, i els ecosistemes litorals protegeixen la línia de costa. El mar proveeix d'aliment, aigua per a beure i fonts d'energia, i significa una via de transport per a persones i mercaderies. També és el gran abocador, reciclador i diluïdor de molts dels nostres residus.

Dels organismes marins s'extreuen substàncies d'interès farmacèutic. A més, el mar és un marc cultural irrenunciable i font d'esbarjament i de negoci. Tots aquests serveis que el mar ofereix, hom els anomena genèricament *serveis ecosistèmics* o *serveis ambientals* (MEA, 2005). Tenir i mantenir uns ecosistemes marins saludables té, doncs, una importància enorme per al benestar de la població. Entendre'n la variabilitat al llarg del temps i la influència que hi tenen les activitats humanes i el canvi climàtic és essencial per a planificar-ne la gestió i predir l'evolució del país en els propers decennis. A continuació comentem alguns d'aquests serveis.

La Mediterrània té una gran importància en la regulació del clima a Catalunya, especialment a la façana litoral, per mitjà dels intercanvis de calor i vapor d'aigua. El mar ajuda a regular els extrems de temperatura, però, sobretot, alimenta bona part de la precipitació que, al capdavant, determina la disponibilitat d'aigua de consum i de reg. El SICCC ja descrivia el consens dels models en la predicció que la precipitació mitjana a Catalunya disminuirà durant el s. XXI; tanmateix, les previsions apuntaven que una mar progressivament més càlida podia comportar un augment dels episodis de precipi-

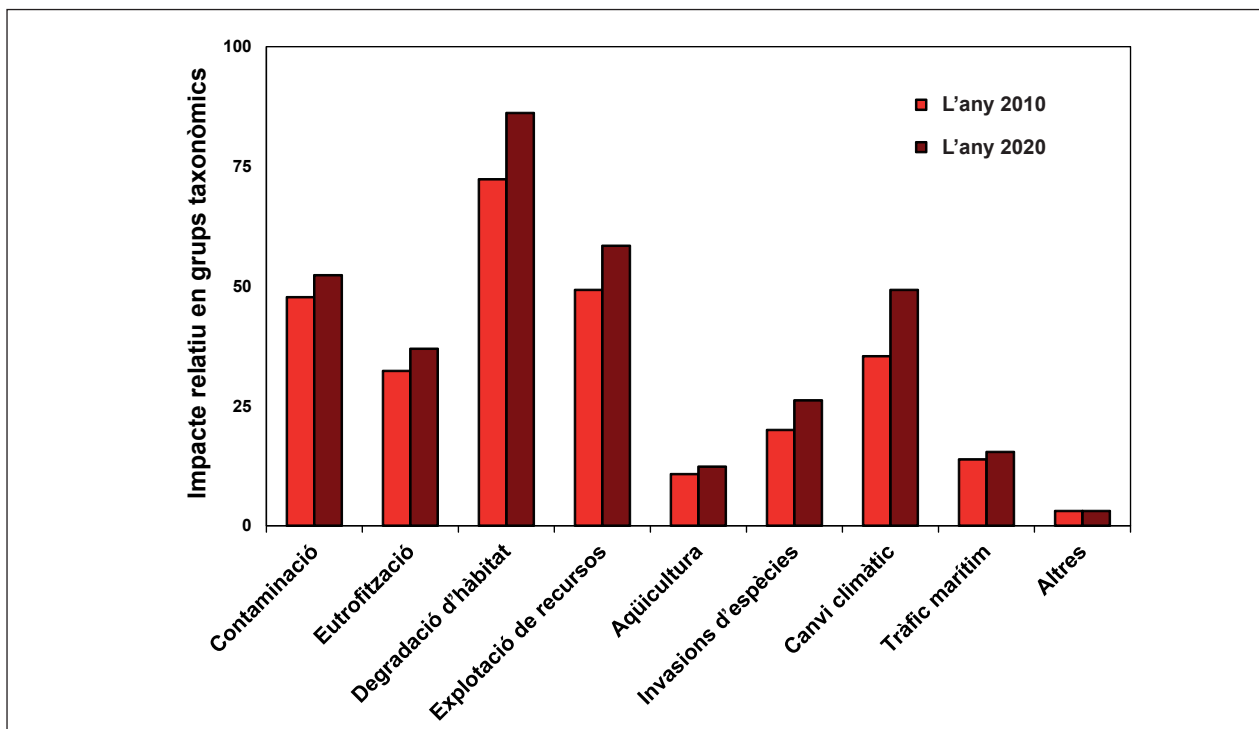


FIGURA 11.5. Amenaces actuals i futures per a la biodiversitat de la Mediterrània per tretze grups taxonòmics a partir de l'opinió d'experts. S'ha tingut en compte la importància relativa de cada amenaça per a la biodiversitat del grup.

Font: Adaptada de Coll *et al.*, 2010.

tació extrems en les estacions humides, especialment a la tardor. En conjunt, però, cal esperar més dificultats en la disponibilitat d'aigua.

A més llarg termini, el mar contribueix a regular el clima també per mitjà dels intercanvis de CO₂ i d'altres substàncies d'impacte climàtic. Com hem explicat al capítol 3, apartat 3.3, la mar catalana actua d'embornal de l'increment de CO₂ a l'atmosfera, fins al punt d'haver retirat uns 12 Mg de carboni per hectàrea en els últims dos-cents cinquanta anys.

Els ecosistemes litorals, i en especial els alguers de *Posidonia oceanica* i les tenasses de l'alga calcària *Lithophyllum byssoides*, els esculls de vermèdids (*Dendropoma*, mol·luscs) i *Sabellaria* (cucs) o bé el recobriment de glans de mar en la roca supralitoral i mediolitoral, tenen una funció d'esmoreïment de l'onatge i de subjecció dels fons tous, de manera que protegeixen la costa de l'erosió. Els alguers de *Posidonia* estan disminuint en extensió al llarg de bona part del litoral català, principalment per efecte de la pesca d'arrossegament i de la terbolesa de l'aigua. L'increment del nivell del mar i de la freqüència de les tempestes d'onatge moderades de tardor en els darrers decennis fan preveure un augment del risc d'erosió litoral a causa del canvi climàtic (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2010). De fet, la regressió dels alguers no fa més que incrementar aquest risc. Pel que fa a les estructures calcàries de recobriment de fons rocosos o sorrencs com els esculls d'algues, mol·luscs, cucs i cirrípedes responen de manera diferent als efectes del canvi climàtic: mentre que els esculls de vermèdids són termòfils i hom en pot preveure l'expansió cap al nord, les tenasses són més pròpies d'aigües temperades i un escalfament les afectarà negativament.

Al capítol 13 ja hem explicat que els ecosistemes marins mediterranis, pelàgics i bentònics proveeixen d'aliment per mitjà de la pesca de tota mena. Val a dir, també, que els productes del mar són components essencials de l'anomenada *dieta mediterrània*. Hi ha molts estudis que associen aquesta dieta a la salut i la qualitat de vida. En particular, les poblacions mediterrànies presenten freqüències més baixes d'afeccions cardiovasculars i càncers i hom ha relacionat el consum de peix a la Mediterrània amb una disminució de la

depressió en adults i de les afeccions respiratòries en infants i una millora de la salut òssia en general. El canvi climàtic actua sinèrgicament amb la sobrepesca, la pol·lució, els patògens i les toxines perquè amenaça la disponibilitat i qualitat d'algunes espècies d'interès alimentari, per a la salut o d'alt valor afegit (Lloret, 2010).

En els darrers anys l'interès pel potencial dels organismes i ecosistemes marins de proveir de compostos actius útils en farmàcia i cosmètica, entre d'altres aplicacions, ha crescut (Lloret, 2010). S'estan provant substàncies antibacterianes, antifúngiques, antivirals, citotòxiques o antioxidants aïllades d'organismes majorment bentònics (esponges, briozous, ascidis, cnidaris, fanerògames, etc.). Cal mirar, doncs, amb preocupació els episodis de mortaldat massiva d'espècies suspensívores de comunitats bentòniques causats per les onades de calor (Simó *et al.*, 2010).

La vida vora el mar comporta una sèrie de beneficis psicològics, emocionals i culturals difícils de quantificar. D'entrada, l'esbargiment a la natura comporta un exercici físic que ajuda a millorar la salut cardiovascular i a prevenir l'obesitat i el càncer. Però és que, a més, ajuda a reduir l'estrès, a millorar l'ànim i a prevenir malalties mentals (Lloret, 2010). El mar, per a molta població del nostre país, constitueix un marc cultural en què se situen identitats, oficis, lligams històrics, estètica i, fins i tot, marques comercials; és una font inesgotable d'inspiració per a la creació en l'art i el disseny. I és també una font de recursos educatius, tant per a l'educació reglada com per a la del lleure. Tanmateix, aquests serveis culturals depenen en bona part de l'estat de l'ecosistema i de com és percebut. La degradació del litoral, la pèrdua de biodiversitat o l'increment de la percepció d'amenaça que representen les tempestes i inundacions comporten una disminució del valor cultural del mar.

El mar i el litoral són els actius principals d'un dels motors econòmics del país: el turisme. Prop de vint milions de turistes visiten Catalunya cada any, la majoria atrets per les platges. De fet, les nostres platges reben més de 250 milions de visites per motius purament d'esbargiment (Nunes *et al.*, 2015). Allò que més valoren els usuaris de les plat-

ges és l'estat general, principalment la qualitat de l'aigua i la conservació dels hàbitats (Kontogianni i Emmanouilides, 2014). L'acceleració de l'erosió de les platges, la degradació general dels ecosistemes originals i referencials i l'abundància de meduses, per esmentar tres fenòmens que es veuen afectats pel canvi climàtic, van en detriment del turisme de mar. En el cas del darrer fenomen, la presència de meduses al litoral sol coincidir amb l'estació amb un nombre més gran de turistes; les localitzacions on les picades són més freqüents passen a ser menys atractives a l'hora de repetir una visita (Canepa *et al.*, 2014).

11.8. Conclusions

El capítol analitza allò que se sap pel que fa als efectes del canvi climàtic en les característiques fisicoquímiques, els processos hidrogràfics i ecològics, els organismes, les comunitats i els serveis ecosistèmics de la mar Mediterrània com a una continuació d'allò que s'indicava en el capítol corresponent del SICCC. La Mediterrània es mostra especialment sensible al canvi climàtic a causa de les característiques de conca tancada i a l'elevada biodiversitat.

S'han registrat pujades de la temperatura de l'aigua entre 0,3 °C i 0,19 °C per decenni en els primers 50 m i 80 m de profunditat, respectivament, i augments del nivell del mar de 3,9 cm de mitjana per decenni. Per sota dels 1.000 m, a la mar Mediterrània és on s'ha incrementat la salinitat de manera més dràstica (> 0,05 PSS del 1950 al 2010 entre 1.000 i 1.500 m). En aigües superficials, aquesta tendència no és tan clara. En canvi, a la mar Mediterrània encara no es pot detectar una tendència clara d'acidificació ni hi ha evidència que el litoral català s'estigui eutrofitzant. Sí que la columna d'aigua de la mar Mediterrània presenta una tendència cap a una estratificació més gran, la qual cosa incideix en la circulació termohalina, que ha experimentat canvis importants en els darrers decennis, dels quals caldrà estudiar l'efecte futur, ja que no és clara la relació que tenen amb el canvi climàtic.

La comunitat del coral·ligen, amenaçada per diversos impactes (arts de pesca, ancoratge d'embarcacions, «trepig» dels escafandristes, efecte de diferents contaminants, espècies exòtiques

invasores), també ho està pel canvi climàtic. Hi ha hagut diversos episodis de mortaldats, principalment d'invertebrats suspensívors, com a resultat d'episodis d'escalfament de les aigües superficials pel retard de la barreja vertical de les aigües i del trencament de la termoclina a la tardor. La recuperació d'aquests organismes de vida llarga és molt lenta i la taxa de reclutament es veu afectada negativament. Com que són espècies estructurals, tota la comunitat en rep l'impacte.

L'alguer de *P. oceanica* (l'altina), molt afectat per diverses activitats humanes, és sensible a l'increment de la temperatura i a la terbolesa de les aigües. De fet, algunes estimacions indiquen que a mitjan segle XXI els alguers de *Posidonia* és possible que estiguin funcionalment extingits. La pujada de la temperatura pot també eliminar el paper d'embornal de CO₂ que ara té l'alguer i pot afavorir l'expansió d'espècies d'algues al·lòctones, les quals competeixen per l'espai amb l'altina i amb altres fanerògames. Els meteors catastròfics, que semblen augmentar a causa del canvi climàtic, poden afectar, ultra els alguers de fanerògames, les macroalgues, les quals ja es troben sotmeses a diverses pressions antròpiques; atès que tots aquests macròfits són espècies enginyeres o estructurals, l'impacte es transmet a tota la comunitat. A més, l'acidificació també pot afectar les algues incrustants.

La producció primària neta sembla que no ha d'augmentar en l'escenari actual d'increment de la temperatura. No s'han documentat canvis significatius en l'abundància de les espècies del bacterioplàncton ni del picofitoplàncton, mentre que la gruixària dels cocòlits de les algues cocolitoforals sembla que s'ha reduït, potser per efecte de l'acidificació.

Pel que fa als invertebrats, les espècies que viuen associades amb simbionts algals són més sensibles a la pujada de la temperatura, mentre que a les espècies termòfiles, tant d'invertebrats com de peixos, tant autòctones com exòtiques, aquest fet els facilita una expansió cap a àrees que abans no ocupaven. Les fases larvals o juvenils de diferents invertebrats i peixos es poden veure afectades per l'augment de temperatura i per l'acidificació de l'aigua.

En relació amb les meduses de les costes catalanes, hi ha una tendència a l'increment, en concordança amb els factors ambientals que els són favorables, molts dels quals resulten del canvi climàtic (hiverns suaus, primaveres poc plujoses i estius càlids, principalment).

L'augment de la temperatura de l'aigua i l'ampliació de la durada de l'estratificació estival de la columna d'aigua afavoreixen les algues dinoflagel·lades i, entre elles, les causants d'episodis de proliferació de microalgues nocives o tòxiques. Altres activitats humanes que també s'estan incrementant, com les entrades de nutrients al litoral i l'enginyeria de la costa, afavoreixen així mateix aquestes proliferacions.

Pel que fa a la biodiversitat, que és molt elevada a la mar Mediterrània, ja hi ha dades directes o indirectes de l'afectació que pateixen pel canvi climàtic. La major part dels estudis sobre els impactes de l'escalfament de les aigües constaten variacions en l'abundància poblacional i en la supervivència de les espècies a les quals fan referència. La migració o el desplaçament de les espècies natives o al·lòctones (principalment, lessepsianes) representen una fracció reduïda dels estudis, fet pel qual els estudis que demostren efectes en la fecunditat, el creixement i la fenologia són pocs. Els principals grups estudiats són cnidaris i peixos, i les espècies més afectades són les sèssils.

Pel que fa als serveis ecosistèmics, la funció d'esmoreïment de l'onatge dels organismes que formen praderies en els fons sedimentaris o recobriments calcaris sobre la roca litoral es veurà afectada quan ho siguin els organismes corresponents. L'impacte en els recursos alimentaris (pesca, marisc) ja es deixa sentir, i els episodis de mortaldat massiva posen en perill la «farmàcia» del mar, com s'han anomenat els compostos actius de moltes algues i invertebrats amb aplicacions mèdiques i altres. Aquest és un exemple d'impacte econòmic negatiu, al qual cal afegir les afectacions al turisme (episodis d'abundància de meduses, reducció de la sorra de les platges, etc.).

11.9. Recomanacions

Des d'un punt de vista de gestió, els efectes del canvi climàtic en els ecosistemes marins i costa-

ners es poden abordar des de diferents angles. D'una banda, és important implementar plans i actuacions per a la mitigació de les emissions de CO₂, que són l'arrel, per exemple, del problema de l'escalfament global i de l'acidificació. En aquest sentit, cal continuar impulsant mesures de reducció d'aquest i d'altres gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) en tots els sectors (energia, transport, indústria, agricultura, residus), fet pel qual caldrà posar un èmfasi especial en la crema de combustibles fòssils, que segueix sent la part més important de les emissions de GEH a Catalunya. De l'altra, cal establir mesures de protecció dels ecosistemes marins i costaners, sobretot dels hàbitats més vulnerables. Cal, per exemple, promoure una explotació sostenible dels recursos marins i establir mesures de conservació que vetllin per la preservació de la rica biodiversitat marina de la mar catalana. L'establiment de reserves o àrees de protecció marina amb regulacions específiques sobre la pesca i les activitats recreatives van en aquesta direcció i cal potenciar-les. En tercer lloc, és necessari actuar també en la reparació dels ecosistemes que ja han patit afectacions. Per exemple, malgrat la dificultat de revertir el declivi dels alguers de *Posidonia*, alguns estudis pilot de restauració mitjançant plàntules obtingudes de llavors naturals són optimistes pel que fa a aquesta possibilitat a petita escala, però es dubta que puguin funcionar a gran escala. Una cosa similar es pot dir de les espècies d'invertebrats suspensívors que han patit episodis de mortaldat, i per a algunes de les quals els estudis pilot de reimplantació comencen a donar resultats positius. Cal, però, assenyalar que si les condicions ambientals que provoquen els episodis de mortaldat no canvien, aquesta restauració pot ser inútil. Finalment, cal també fer un esforç a l'hora de planificar com ens adaptarem als canvis que siguin inevitables. En aquest sentit, cal destacar els esforços recollits en l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC; Generalitat de Catalunya, 2012), i promoure plans de gestió dels recursos naturals i d'ús del mar, platges i zones costaneres adaptats a les noves condicions que es projecten per al futur.

Per a minimitzar els efectes de caràcter més global com ara l'escalfament de les aigües o l'acidificació, és important també fer un esforç per a reduir altres afectacions més locals derivades de

les activitats humanes que sovint interaccionen de manera sinèrgica amb els ecosistemes marins (per exemple, la sobrepesca, la destrucció d'habitats, la contaminació). De fet, alguns treballs apunten que les accions globals de mitigació d'emissions de GEH podrien servir de poc si no es combinen amb actuacions de minimització dels efectes a escala més local. En aquest sentit, i a causa de la generalització dels casos d'expansió d'espècies alienes d'origen tropical o subtropical a la Mediterrània, arribades de maneres diferents però que s'hi instal·len i s'expandeixen amb l'escalfament de les aigües, caldria anar amb molta més cura pel que fa al control de la comercialització d'espècies d'aquari o de suposades espècies controladores d'espècies plaga, en la vigilància del buidat de les aigües de llast de vaixells i en altres causes immediates o mediatees d'entrada d'aquelles espècies alienes potencialment invasores a la Mediterrània.

Un aspecte a considerar, ara que ja hi ha treballs que indiquen quines seran les àrees litorals més afectades per la pujada del nivell del mar (capítol 8), seria precisament garantir que la pujada associada de les comunitats (per exemple, l'alguer de *Posidonia*) no es veïés afectada per impediments artificials, com dics i altres mesures destinades precisament a impedir la intrusió marina. D'aquesta manera, es podria garantir que la pèrdua de l'alguer en profunditat (com s'ha esmentat en l'apartat 11.3.2.) es compensés a llarg termini amb la reconstitució de l'alguer en els nous espais somers ocupats pel mar.

Òbviament, el nombre de possibilitats d'abordar els efectes del canvi climàtic en els ecosistemes marins i costaners i les probabilitats d'èxit es reduiran a mesura que el canvi climàtic vagi progressant i les conseqüències que se'n deriven es vagin manifestant de manera més evident, per la qual cosa és molt important fomentar les diferents actuacions tan aviat com sigui possible.

Pel que fa a necessitats de recerca, és imprescindible promoure programes de seguiment per a determinar l'evolució de les principals variables físiques, químiques i biològiques indicadores del canvi climàtic i ambiental i de la velocitat a què evoluciona. Aquest seguiment convindria fer-lo de manera sistemàtica al litoral català i a mar obert,

però, molt especialment, en àrees protegides on, gràcies a la gestió i la reducció dels altres factors d'impacte, podem discernir i valorar els efectes del canvi climàtic. Idealment, seria molt valuós disposar d'una xarxa d'observatoris marins anàloga a la que hi ha d'observatoris meteorològics en tot el país. És igualment necessari potenciar la recerca sobre els efectes del canvi climàtic en els organismes i les comunitats marines i entendre més a fons els mecanismes i processos a través dels quals el canvi climàtic actua en els ecosistemes marins.

Referències bibliogràfiques

- ADLOFF, F.; SOMOT, S.; SEVAULT, F. [et al.] (2015). «Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios». *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-015-2507-3.
- ARIN, L. [et al.] (2013). «Open sea hydrographic forcing of nutrient and phytoplankton dynamics in a Mediterranean coastal ecosystem». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 133, p. 116-128.
- ARIZMENDI-MEJÍA, R.; LEDOUX, J.-B.; CIVIT, S. [et al.] (2015). «Demographic responses to warming: Reproductive maturity and sex influence vulnerability in an octocoral». *Coral Reefs*. DOI: 10.1007/s00338-00015-01332-00339.
- BALLESTEROS, E. (2006). «Mediterranean coralligenous assemblages: A synthesis of present knowledge». *Oceanography and Marine Biology*, 44, p. 123-195.
- BARALE, V.; JAQUET, J. M.; NDIAYE, M. (2008). «Algal blooming patterns and anomalies in the Mediterranean Sea as derived from the SeaWiFS data set (1998-2003)». *Remote Sensing of Environment*, 112, p. 3300-3313.
- BATES, N. R.; ASTOR, Y. M.; CHURCH, M. J. [et al.] (2014). «A time-series view of changing ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO₂ and ocean acidification». *Oceanography*, 27, p. 126-141.
- BEN HAJ, S.; LIMAM, A. (2010). «Impact of climate change on marine and coastal biodiversity in the Mediterranean Sea: Current state of knowledge». *Tunis*, p. 1-28.

- BEN RAIS LASRAM, F.; GUILHAUMON, F. [et al.] (2010). «The Mediterranean Sea as a *cul-de-sac* for endemic fishes facing climate change». *Global Change Biology*, 16, p. 3233-3245.
- BERNARD, P.; BERLINE, L.; GORSKY, G. (2011). «Long term (1981–2008) monitoring of the jellyfish *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphozoa) on the French Mediterranean coasts». *Journal of Oceanography, Research and Data*, 4, p. 1-10.
- BORGHINI, M.; BRYDEN, H.; SCHROEDER, K. [et al.] (2014). «The Mediterranean is becoming saltier». *Ocean Science*, 10, p. 693-700.
- BOUDOURESQUE, C. F.; MEINESZ, A. (1982, 1991). *Découverte de l'herbier de posidonie*. Hyères: Parc National de Port-Cros.
- BRAMANTI, L.; MOVILLA, J.; GURON, M. [et al.] (2013). «Detrimental effects of ocean acidification on the economically important Mediterranean red coral (*Corallium rubrum*)». *Global Change Biology*, 19, p. 1897-1908.
- BROTZ, L.; CHEUNG, W. W. L.; KLEISNER, K. [et al.] (2012). «Increasing jellyfish populations: trends in Large Marine Ecosystems». *Hydrobiologia*, 690, p. 3-20.
- BURROWS, M. T.; SCHOEMAN, D. S.; RICHARDSON, A. J. [et al.] (2014). «Geographical limits to species-range shifts are suggested by climate velocity». *Nature*, 507, p. 492-495.
- CALVO, E.; SIMÓ, R.; COMA, R. [et al.] (2011). «Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems: the case of the Catalan Sea». *Climate Research*, 50, p. 1-29.
- CANEPA, A.; FUENTES, V.; SABATÉS, A. [et al.] (2014). «*Pelagia noctiluca* in the Mediterranean Sea». A: *Jellyfish Blooms*. Nova York: Springer Netherlands, p. 237- 266.
- CAROSELLI, E.; GOFFREDO, S. (2014). «Mediterranean coral population dynamics: A tale of 20 years of field studies». A: *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. Nova York: Springer Netherlands, p. 275-284.
- CEBRIÁN, E.; URIZ, M. J.; GARRABOU, J. [et al.] (2011). «Sponge mass mortalities in a warming Mediterranean Sea: Are cyanobacteria-harboring species worse off?». *Plos One*, 6. DOI: 20210.21371/journal.pone.0020211.
- COHU, S.; MANGIALAJO, L.; THIBAUT, T. [et al.] (2013). «Proliferation of the toxic dinoflagellate *Ostreopsis cf. ovata* in relation to depth, biotic substrate and environmental factors in the North West Mediterranean Sea». *Harmful Algae*, 24, p. 32-44.
- COLL, M.; PIRODDI, C.; STEENBEEK, J. [et al.] (2010). «The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats». *Plos One*, 5. DOI: 10.1371/journal.pone.0011842.
- COMA, R.; LLORENTE-LLURBA, E.; SERRANO, E. [et al.] (2015). «Natural heterotrophic feeding by a temperate octocoral with symbiotic zooxanthellae: a contribution to understanding the mechanisms of die-off events». *Coral Reefs*, 34, p. 549-560.
- COMPANY, J. B.; PUIG, P.; SARDÀ, F. [et al.] (2008). «Climate influence on deep sea populations». *Plos One*, 3. DOI: 10.1371/journal.pone.0001431.
- CONDON, R. H.; DUARTE, C. M.; PITT, K. A. [et al.] (2013). «Recurrent jellyfish blooms are a consequence of global oscillations». *PNAS*, 110, p. 1000-1005.
- CRISCI, C.; BENSOUSSAN, N.; ROMANO, J. C. [et al.] (2011). «Temperature anomalies and mortality events in marine communities: Insights on factors behind differential mortality Impacts in the NW Mediterranean». *Plos One*, 6. DOI: 23810.21371/journal.pone.0023814.
- DALY YAHIA, M. N.; BATISTIC, M.; LUCIC, D. [et al.] (2010). «Are the outbreaks of *Pelagia noctiluca* (Forsskål, 1775) more frequent in the Mediterranean basin?». A: *Proceedings of the joint ICES/CIESM workshop to compare zooplankton ecology and methodologies between the Mediterranean and the North Atlantic (WKZEM)*. ICES Cooperative Research Report, p. 8-14.
- DI CAMILLO, C. G.; CERRANO, C. (2015). «Mass mortality events in the NW Adriatic Sea: Phase shift from slow- to fast-growing organisms». *Plos One*, 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0126689.
- DISSANAYAKE, A. (2014) «Ocean acidification and warming effects on crustacea: Possible future scenarios». A: *The Mediterranean Sea*. Nova York: Springer Netherlands, p. 363-372.

- DUARTE, C. M. (2014). «Global change and the future ocean: A grand challenge for marine sciences». *Frontiers in Marine Science*. DOI: 10.3389/fmars.2014.00063.
- DUARTE, C. M.; PITT, K. A.; LUCAS, C. H. [et al.] (2012). «Is global ocean sprawl a cause of jellyfish blooms?». *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11, p. 91-97.
- DURACK, P. J. (2015). «Ocean salinity and the global water cycle». *Oceanography*, 28, p. 20-31.
- FLO, E.; GARCÉS, E.; MANZANERA, M. [et al.] (2010). «Inshore Mediterranean waters: opening the black box». *EUTRO 2010*.
- GARCÉS, E.; CAMP, J. (2012). «Habitat changes in the Mediterranean Sea and the consequences for Harmful Algal Blooms formation». A: STAMBLER, N. (ed.). *Life in the Mediterranean Sea: A look at habitat changes*. Nova York: Science Publishers, Inc., p. 519-541.
- GARCÉS, E.; MASÓ, M.; CAMP, J. (2002). «Role of temporary cysts in the population dynamics of *Alexandrium taylori* (Dinophyceae)». *Journal of Plankton Research*, 24, p. 681-686.
- GARRABOU, J.; COMA, R.; BENSOUSSAN, N. [et al.] (2009). «Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave». *Global Change Biology*, 15, p. 1090-1103.
- GATTUSO, J. P.; MAGNAN, A.; BILLÉ, R. [et al.] (2015). «Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios». *Science*, 349. DOI: 10.1126/science.1244722.
- GAZEAU, F.; PARKER, L.; COMEAU, S. [et al.] (2013). «Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs». *Marine Biology*, 160, p. 2207-2245.
- GILI, J. M.; FUENTES, V.; ATIENZA, D. [et al.] (2010). «Report of the Medusa Project». *Tech Rep*, 8.
- GILI, J. M.; ROS, J. D. (1984). «L'estatge circalitoral de les illes Medes: el coral-ligen». A: *Els sistemes naturals de les illes Medes*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, p. 677-705.
- HAGUENAUER, A.; ZUBERER, F.; LEDOUX, J. B. [et al.] (2013). «Adaptive abilities of the Mediterranean red coral *Corallium rubrum* in a heterogeneous and changing environment: from population to functional genetics». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 449, p. 349-357.
- HASSOUN, A. E. R.; GUGLIELMI, V.; GEMAYEL, E. [et al.] (2015). «Is the Mediterranean Sea circulation in a steady state?». *Journal of Water Resources and Ocean Science*, 4, p. 6-17.
- HERRMANN, M.; ESTOURNEL, C.; ADLOFF, F. [et al.] (2014). «Impact of climate change on the north-western Mediterranean Sea pelagic planktonic ecosystem and associated carbon cycle». *Journal of Geophysical Research*, 119, p. 5815-5836.
- JORDÀ, G.; MARBÀ, N.; DUARTE, C. M. (2012). «Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming». *Nature Climate Change*, 2, p. 821-824.
- KERSTING, D. K.; BALLESTEROS, E.; CARALT, S. DE. [et al.] (2014). «Invasive macrophytes in a marine reserve (Columbretes Islands, NW Mediterranean): spread dynamics and interactions with the endemic scleractinian coral *Cladocora caespitosa*». *Biological Invasions*, 16, p. 1599-1610.
- KERSTING, D. K.; BENSOUSSAN, N.; LINARES, C. (2013). «Long-term responses of the endemic reef-builder *Cladocora caespitosa* to Mediterranean warming». *Plos One*, 8, 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0070820.
- KERSTING, D. K.; LINARES, C. (2012). «*Cladocora caespitosa* bioconstructions in the Columbretes Islands Marine Reserve (Spain, NW Mediterranean): distribution, size structure and growth». *Marine Ecology*, 33, p. 427-436.
- KIPSON, S.; LINARES, C.; TEIXIDÓ, N. [et al.] (2012). «Effects of thermal stress on early developmental stages of a gorgonian coral». *Marine Ecology Progress Series*, 470, p. 69-78.
- KONTOGIANNI, A. D.; EMMANOULIDES, C. J. (2014). «The cost of a gelatinous future and loss of critical habitats in the Mediterranean». *ICES Journal of Marine Science*, 71, p. 853-866.
- KROEKER, K. J.; KORDAS, R. L.; CRIM, R. N. [et al.] (2010). «Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms». *Ecology Letters*, 13, p. 1419-1434.

- LARKUM, A. W. D.; ORTH, J. J.; DUARTE, C. M. (2006). «Seagrasses: Biology, ecology and their conservation». Dordrecht: Kluwer.
- LAZZARI, P.; MATTIA, G.; SOLIDORO, C. [et al.] (2014). «The impacts of climate change and environmental management policies on the trophic regimes in the Mediterranean Sea: Scenario analyses». *Journal of Marine Systems*, 135, p. 137-149.
- LEGRAND, C.; CASOTTI, R. (2010). «Climate-induced changes and harmful algal blooms in the Mediterranean: perspectives on future scenarios». A: *Phytoplankton responses to Mediterranean environmental changes*. Mònaco: F. Briand, p. 63-66.
- LEJEUSNE, C.; CHEVALDONNÉ, P.; PERGENT-MARTINI, C. [et al.] (2010). «Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea». *Trends in Ecology and Evolution*, 25, p. 250-260.
- LINARES, C.; CEBRIÁN, E.; KIPSON, S. [et al.] (2013). «Does thermal history influence the tolerance of temperate gorgonians to future warming?». *Marine Environmental Research*, 89, p. 45-52.
- LINARES, C.; VIDAL, M.; CANALS, M. [et al.] (2015). «Persistent natural acidification drives major distribution shifts in marine benthic ecosystems». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282.
- LLORET, J. (2010). «Human health benefits supplied by Mediterranean marine biodiversity». *Marine Pollution Bulletin*, 60, p. 1640-1646.
- LLORET, J.; SABATÉS, A.; MUNOZ, M. [et al.] (2015). «How a multidisciplinary approach involving ethnoecology, biology and fisheries can help explain the spatio-temporal changes in marine fish abundance resulting from climate change». *Global Ecology and Biogeography*, 24, p. 448-461.
- MACÍAS, D.; GARCIA-GORRIZ, E.; STIPS, A. (2013). «Understanding the causes of recent warming of mediterranean waters. How much could be attributed to climate change?». *Plos One*, 8. DOI: 81510.81371/journal.pone.0081591.
- MADRON, X. D.; GUIEU, C.; SEMPÉRÉ, R. [et al.] (2011). «Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean by "The MERMEX Group"». *Progress in Oceanography*, 91, p. 97-166.
- MARBÀ, N.; DUARTE, C. M. (2010). «Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality». *Global Change Biology*, 16, p. 2366-2375.
- MARBÀ, N.; JORDÀ, G.; AGUSTÍ, S. [et al.] (2015a). «Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota». *Frontiers in Marine Science*, 2, p. 56.
- MARBÀ, N.; JORDÀ, G.; AGUSTÍ, S. [et al.] (2015b). «Impacts of climate change on organisms in the Mediterranean Sea [Dataset]». També disponible en línia a: <<http://hdl.handle.net/10261/116098>> [Consulta: 20 febrer 2016].
- MARTÍN, P.; SABATÉS, A.; LLORET, J. [et al.] (2012). «Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) production in the north-western Mediterranean». *Climatic Change*, 110, p. 925-939.
- MARTY, J. C.; CHIAVÉRINI, J. (2010). «Hydrological changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean, DYFAMED site) during 1995-2007 and biogeochemical consequences». *Biogeosciences*, 7, p. 2117-2128.
- MAYNOU, F.; SABATÉS, A.; SALAT, J. (2014). «Clues from the recent past to assess recruitment of Mediterranean small pelagic fishes under sea warming scenarios». *Climatic Change*, 126, p. 175-188.
- MEIER, K. J. S.; BEAUFORT, L.; HEUSSNER, S. [et al.] (2014). «The role of ocean acidification in *Emiliania huxleyi* coccolith thinning in the Mediterranean Sea». *Biogeosciences*, 11, p. 2857-2869.
- MELLA-FLORES, D.; MAZARD, S.; HUMILY, F. [et al.] (2011). «Is the distribution of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* ecotypes in the Mediterranean Sea affected by global warming?». *Biogeosciences*, 8, p. 2785-2804.
- MEYER, J.; RIEBESELL, U. (2015). «Reviews and syntheses: Responses of coccolithophores to ocean acidification: a meta-analysis». *Biogeosciences*, 12, p. 1671-1682.
- MICHAELIDIS, B.; PÖRTNER, H. O.; SOKOLOVA, I. [et al.] (2014). «Advances in predicting the impacts of

- global warming on the mussels *Mytilus galloprovincialis* in the Mediterranean Sea». A: GOFFREDO, S.; DUBINSKY, Z. (ed.). *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. Nova York: Springer Netherlands, p. 319-339.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington DC: Island Press.
- MOLINERO, J. C.; IBANEZ, F.; NIVAL, P. [et al.] (2005). «North Atlantic climate and northwestern Mediterranean plankton variability». *Limnology and Oceanography*, 50, p. 1213-1220.
- MOLINERO, J. C.; CASINI, M.; BUECHER, E. (2008). «The influence of the Atlantic and regional climate variability on the long-term changes in gelatinous carnivore populations in the northwestern Mediterranean». *Limnology and Oceanography*, 53, p. 1456-1467.
- MOORE, S. K.; TRAINER, V. L.; MANTUA, N. J. [et al.] (2008). «Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health». *Global Environmental Health*, 7(2), S4.
- MOVILLA, J.; CALVO, E.; PELEJERO, C. [et al.] (2012). «Calcification reduction and recovery in native and non-native Mediterranean corals in response to ocean acidification». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 438, p. 144-153.
- NAVARRO, L.; BALLESTEROS, E.; LINARES, C. [et al.] (2011). «Spatial and temporal variability of deep-water algal assemblages in the Northwestern Mediterranean: The effects of an exceptional storm». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, p. 52-58.
- NUNES, P. A. L. D.; LOUREIRO, M. L.; PINOL, L. [et al.] (2015). «Analyzing beach recreationists' preferences for the reduction of jellyfish blooms: Economic results from a stated-choice experiment in Catalonia, Spain». *Plos One*, 10. DOI: 10.1371/journal.pone.0126681.
- PAIRAUD, I.; BENSOUSSAN, N.; GARREAU, P. [et al.] (2014). «Impacts of climate change on coastal benthic ecosystems: assessing the current risk of mortality outbreaks associated with thermal stress in NW Mediterranean coastal areas». *Ocean Dynamics*, 64, p. 103-115.
- PALMIÉRI, J.; ORR, J. C.; DUTAY, J. C. [et al.] (2015). «Simulated anthropogenic CO₂ uptake and acidification of the Mediterranean Sea». *Biogeosciences*, 12, p. 781-802.
- PEDERSEN, M. O.; SERRANO, O.; MATEO, M. A. [et al.] (2011). «Temperature effects on decomposition of a *Posidonia oceanica* mat». *Aquatic Microbial Ecology*, 65, p. 169-182.
- PIAZZI, L.; GENNARO, P.; BALATA, D. (2012). «Threats to macroalgal coralligenous assemblages in the Mediterranean Sea». *Marine Pollution Bulletin*, 64, p. 2623-2629.
- POLOCZANSKA, E. S.; BROWN, C. J.; SYDEMAN, W. J. [et al.] (2013). «Global imprint of climate change on marine life». *Nature Climate Change*, 3, p. 919-925.
- PONTI, M.; PERLINI, R. A.; VENTRA, V. [et al.] (2014). «Ecological shifts in Mediterranean coralligenous assemblages related to gorgonian forest loss». *Plos One*, 9. DOI: 10.1371/journal.pone.0102782.
- PORZIO, L.; BUIA, M. C.; HALL-SPENCER, J. M. (2011). «Effects of ocean acidification on macroalgal communities». *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, p. 278-287.
- PUIG, P.; MADRON, X. D. D.; SALAT, J. [et al.] (2013). «Thick bottom nepheloid layers in the western Mediterranean generated by deep dense shelf water cascading». *Progress in Oceanography*, 111, p. 1-23.
- PURCELL, J. E.; SABATÉS, A.; FUENTES, V. [et al.] (2012). «Predation potential of blooming jellyfish, *Pelagia noctiluca*, on fish larvae in the NW Mediterranean Sea». A: NORTH PACIFIC MARINE SCIENCE ORGANIZATION. *PICES-2012: Program and Abstracts*. Hiroshima.
- RODOLFO-METALPA, R.; HOOGENBOOM, M. O.; ROTTIER, C. [et al.] (2014). «Thermally tolerant corals have limited capacity to acclimatize to future warming». *Global Change Biology*, 20, p. 3036-3049.
- ROS, J. D. (2009). «El mar i les costes catalanes ja noten l'efecte del canvi climàtic». A: AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya*. Barcelona:

- Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 259-277.
- ROSA, S.; PANSERA, M.; GRANATA, A. [et al.] (2013). «Interannual variability, growth, reproduction and feeding of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria: Scyphozoa) in the Straits of Messina (Central Mediterranean Sea): linkages with temperature and diet». *Journal of Marine Systems*, 111-112, p. 97-107.
- SABATÉS, A.; MARTIN, P.; LLORET, J. [et al.] (2006). «Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean». *Global Change Biology*, 12, p. 2209-2219.
- SABATÉS, A.; PAGÈS, F.; ATIENZA, D. [et al.] (2010). «Planktonic cnidarian distribution and feeding of *Pelagia noctiluca* in the NW Mediterranean Sea». *Hydrobiologia*, 645, p. 153-165.
- SABATÉS, A.; MARTÍN, P.; RAYA, V. (2012). «Changes in life-history traits in relation to climate change: bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the northwestern Mediterranean». *ICES Journal of Marine Science*. DOI: 10.1093/icesjms/fss1053.
- SABATÉS, A.; SALAT, J.; RAYA, V. [et al.] (2013). «Role of mesoscale eddies in shaping the spatial distribution of the coexisting *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* larvae in the northwestern Mediterranean». *Journal of Marine Systems*, 111-112, p. 108-119.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MÖSSO, C.; SIERRA, J. P. [et al.] (2010). «Climatic drivers of potential hazards in Mediterranean coasts». *Regional Environmental Change*. DOI: 10.1007/s10113-010-0193-6.
- SERRANO, E.; COMA, R.; RIBES, M. [et al.] (2013). «Rapid northward spread of a zooxanthellate coral enhanced by artificial structures and sea warming in the Western Mediterranean». *Plos One*, 8. DOI: 52710.51371/journal.pone.0052739.
- SIMÓ, R.; CALVO, M.; RIBES, M. [et al.] (2010) «Ecosistemes marins». A: LLEBOR, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, p. 469-502.
- SKLIRIS, N. (2014). «Past, present and future patterns of the thermohaline circulation and characteristic water masses of the Mediterranean Sea». *The Mediterranean Sea: Its history and present challenges*. New York: Springer Netherlands, p. 29-48.
- SKLIRIS, N.; MARSH, R.; JOSEY, S. A. [et al.] (2014). «Salinity changes in the World Ocean since 1950 in relation to changing surface freshwater fluxes». *Climate Dynamics*, 43, p. 709-736.
- THIBAUT, T.; PINEDO, S.; TORRAS, X. [et al.] (2005). «Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albes coast (France, North-western Mediterranean)». *Marine Pollution Bulletin*, 50, p. 1472-1489.
- TOURATIER, F.; GOYET, C. (2011). «Impact of the Eastern Mediterranean transient on the distribution of anthropogenic CO₂ and first estimate of acidification for the Mediterranean Sea». *Deep Sea Research*, 58, p. 1-15.
- VARGAS-YÁÑEZ, M.; GARCÍA, M. J.; SALAT, J. [et al.] (2008). «Warming trends and decadal variability in the Western Mediterranean shelf». *Global and Planetary Change*, 63, p. 177-184.
- VARGAS-YÁÑEZ, M.; MALLARD, E.; RIXEN, M. [et al.] (2012). «The effect of interpolation methods in temperature and salinity trends in the Western Mediterranean». *Mediterranean Marine Science*, 13, p. 118-125.
- VARGAS-YÁÑEZ, M.; MOYA, F.; GARCIA-MARTINEZ, M. C. [et al.] (2010). «Climate change in the Western Mediterranean Sea 1900-2008». *Journal of Marine Systems*. 82, p. 171-176.
- VERGÉS, A.; TOMAS, F.; CEBRIÁN, E. [et al.] (2014). «Tropical rabbitfish and the deforestation of a warming temperate sea». *Journal of Ecology*, 102, p. 1518-1527.
- VILA, M.; ARÍN, L.; BATTOCCHI, C. [et al.] (2012). «Management of *Ostreopsis* blooms in recreational waters along the Catalan coast (NW Mediterranean Sea): cooperation between a research project and a monitoring program». *Cryptogamie, Algologie*, 33, p. 143-152.
- VILLEGAS-HERNÁNDEZ, H.; LLORET, J.; MUÑOZ, M. (2015). «Reproduction, condition and abundance of the Mediterranean bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the context of sea warming». *Fisheries Oceanography*, 24, p. 42-56.

VILLEGAS-HERNÁNDEZ, H.; MUÑOZ, M.; LLORET, J. (2014). «Life-history traits of temperate and thermophilic barracudas (Teleostei: Sphyraenidae) in the context of sea warming in the Mediterranean Sea». *Journal of Fish Biology*, 84, p. 1940-1957.

WELLS, M. L.; TRAINER, V. L.; SMAYDA, T. J. [et al.] (2015). «Harmful algal blooms and climate change:

Learning from the past and present to forecast the future». *Harmful Algae*, 49, p. 68-93.

ZUNINO, P.; SCHROEDER, K.; VARGAS-YÁÑEZ, M. [et al.] (2012). «Effects of the Western Mediterranean Transition on the resident water masses: Pure warming, pure freshening and pure heaving». *Journal of Marine Systems*, 96-97, p. 15-23.

12 Sòls

Autors

Josep M. Alcañiz Baldellou

Jaume Boixadera i Llobet

Maria Teresa Felipó Oriol

Josep Oriol Ortiz i Perpiñà

Rosa M. Poch Claret

Josep M. Alcañiz Baldellou és catedràtic d'edafologia a la Universitat Autònoma de Barcelona i investigador al Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF). Ha centrat la recerca en el camp de l'aplicació de residus orgànics per a regenerar sòls degradats, com ara l'aprofitament de fangs de depuradora o compost en la rehabilitació de pedreres. Les línies actuals tracten el segrest de carboni, els sòls contaminats i els efectes del biocarbó (*biochar*).

Jaume Boixadera i Llobet és doctor en ciència del sòl, cap del Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària de la Generalitat de Catalunya i professor associat a la Universitat de Lleida. Ha treballat en els àmbits de la recerca, dels inventaris, de la cartografia i de la gestió dels sòls.

Maria Teresa Felipó Oriol és catedràtica d'edafologia i química agrícola a la Universitat de Barcelona. Va orientar la recerca en la caracterització de residus

orgànics, en la valorització al sòl i en aspectes relacionats amb la contaminació dels sòls.

Josep Oriol Ortiz i Perpiñà és professor d'edafologia de la Universitat de Saragossa. Centra la recerca en la dinàmica de la matèria orgànica del sòl i el segrest de carboni, en els efectes dels incendis i en la rehabilitació de sòls molt degradats mitjançant l'ús de residus orgànics. Ha participat en la implementació d'assajos d'ecotoxicitat basats en l'activitat biològica del sòl.

Rosa M. Poch Claret és catedràtica d'edafologia de la Universitat de Lleida i presidenta de la Comissió de Morfologia i Micromorfologia de Sòls de la Unió Internacional de Ciències del Sòl (IUSS). Centra la recerca en la gènesi de sòls de zones semiàrides, en el maneig i la rehabilitació de sòls i en l'emmagatzematge de carboni en relació amb l'estructura del sòl.

Sumari

Síntesi	293
12.1. Introducció	294
12.1.1. Importància del sòl amb relació al canvi climàtic	294
12.2. Processos edàfics influenciats pel canvi climàtic.....	294
12.2.1. Emmagatzematge de carboni al sòl i límit per saturació	294
12.2.2. Pèrdues per respiració heterotròfica.....	295
12.2.3. Producció de biomassa i modificació de la disponibilitat de nutrients.....	295
12.2.4. Impactes del canvi climàtic en la biodiversitat edàfica	295
12.2.5. Erosió	296
12.2.6. Aridificació	297
12.2.7. Salinització i regadius.....	298
12.3. Processos que incideixen en el canvi climàtic. Emissions de GEH a partir del sòl	299
12.4. Indicadors de canvis del reservori de carboni	300
12.4.1. Tendències actuals dels canvis d'usos del sòl.....	300
12.4.2. Efectes del tipus de maneig dels sòls.....	301
12.4.3. Gestió de residus orgànics al sòl i efectes en el reservori de carboni i en la qualitat del sòl.....	302
12.4.4. El biocarbó com a estratègia de mitigació dels efectes del canvi climàtic.....	303
12.4.5. Rehabilitació de terrenys degradats en el marc del segrest edàfic de carboni	304
12.5. Implementació de les mesures mitigadores del canvi climàtic.....	305
12.5.1. Normatives sobre la protecció del sòl.....	305
12.5.2. Mesures mitigadores del canvi climàtic que impliquen el sòl.....	306
12.5.3. Polítiques, plans i programes	307
12.6. Conclusions	308
12.7. Recomanacions	308
Referències bibliogràfiques	310

Síntesi

S'analitzen els efectes del canvi climàtic en el sòl i la contribució del sol en les emissions, entre altres aspectes. Les previsions de canvi climàtic a Catalunya impliquen un augment de l'energia que incideix en el sòl, que es destina, en part, al manteniment de la vida (i a l'emissió de GEH) i, en part, al manteniment de les reserves de carboni orgànic del sòl. Els canvis d'usos del sòl, també relacionats amb el canvi climàtic, tenen un pes més gran que el canvi climàtic mateix en les emissions de GEH del sòl i, per tant, s'han de tenir molt en compte en les polítiques de mitigació. En cultius de secà, les emissions són més baixes quan s'adopta un conreu de conservació, però en sòls de regadiu són més difícils de preveure.

La combinació dels factors climàtics i de la vegetació i l'evolució causada pel canvi climàtic continuen indicant una tendència cap a l'augment de l'aridesa i, en conseqüència, de l'erosió, que es podria atenuar mitjançant pràctiques adients de conservació de sòls. L'augment de l'evapotranspiració potencial a causa del canvi climàtic farà disminuir la disponibilitat d'aigua als sòls. En les àrees de regadiu, caldrà una dotació més gran d'aigua per al reg i preveure fraccions de rentatge per tal d'evitar l'acumulació de sals. D'altra banda, l'augment de la temperatura podria permetre desplaçar activitats agrícoles cap a zones de més altitud, que a Catalunya també són les que tenen més risc d'erosió del sòl, perquè estan situades en zones de més pendent. Per tant, caldria implementar, amb criteris tècnics, una combinació de mesures de conreu de conservació i d'abancalaments.

Les reserves mitjanes de carboni orgànic dels sòls agrícoles de la Catalunya mediterrània i semiàrida són de 100 Mg ha⁻¹ (fins a 1 m de fondària). Per a poder estimar amb més precisió la capacitat de segrest de carboni dels sòls de tot el territori català, caldria processar les dades disponibles i

integrar-les en models globals. Les previsions de canvi climàtic indiquen que els nostres sòls experimentaran una pèrdua lenta de matèria orgànica per mineralització durant els propers decennis. Per a compensar-la, l'ús de la dosi adequada de restes de collita i d'adobs orgànics de qualitat en sòls agrícoles, o d'esmenes orgàniques en la rehabilitació d'espais degradats, pot contribuir a mantenir el reservori de carboni orgànic al sòl. També és previsible, pel canvi climàtic, una certa pèrdua de biodiversitat edàfica a mitjà o a llarg termini, però més petita que la causada per canvis d'usos i altres activitats humanes.

Les millores introduïdes en la gestió de residus orgànics en faciliten la valorització al sòl, important per al manteniment de la qualitat ambiental. Per a minimitzar les emissions de N₂O i NO, i les pèrdues de qualitat del sòl, cal aplicar els fertilitzants en la dosi i de la manera adequades. L'aplicació de biocarbó (*biochar*) és una opció de mitigació dels efectes del canvi climàtic que cal considerar. S'hauria d'incloure el processat per piròlisi de biomassa de residus als plans d'energia i fer una estimació molt prudent de la capacitat de recepció de biocarbó dels sòls de Catalunya.

El marc normatiu existent no és el més adequat per a la protecció del sòl ni per al paper que ha de jugar en la lluita contra el canvi climàtic. Manca informació sobre el sòl i sobre les mesures més adequades per a la protecció i, de retruc, per a l'adaptació i/o la lluita contra el canvi climàtic. Mantenir la qualitat dels sòls és la millor recomanació perquè els agroecosistemes contribueixin a mitigar els efectes del canvi climàtic. Per tant, accions sobre els usos i el maneig dels sòls són les eines més eficaces de mitigació.

Paraules clau

protecció del sòl, conservació del sòl, usos del sòl, segrest de carboni, gestió de residus, emissions de GEH del sòl

12.1. Introducció

12.1.1. Importància del sòl amb relació al canvi climàtic

El sòl juga un doble paper amb relació al canvi climàtic. D'una banda, n'és un subjecte passiu que veu modificades les propietats i característiques d'una manera accelerada o retardada segons la resiliència i els usos a què és sotmès; de l'altra, actua com a embornal i emissor de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH), i aquí, de nou, les interaccions entre la resiliència i els usos del sòl tenen un paper determinant. Quan hom estudia el sòl amb relació al canvi climàtic ha de considerar aquestes interaccions, ja que el sòl no es pot estudiar isoladament, mesurant i preveient l'evolució dels paràmetres més característics sense considerar la resta de components de l'entorn.

La quantitat, la qualitat, la composició i la distribució interna de la matèria orgànica són elements clau per a jutjar el comportament del sòl davant del canvi climàtic. Malgrat que sovint ens centrem en el CO₂, cal no perdre de vista el paper dels dos altres gasos amb efecte d'hivernacle, el N₂O i el CH₄, també lligats al cicle del carboni.

Arreu del món, s'han dedicat grans esforços a quantificar les dimensions del reservori de carboni al sòl i l'evolució espacial i temporal lligada o no al canvi climàtic. A banda de la contribució modesta del carboni edàfic per a mitigar el canvi climàtic que molts d'aquests estudis apunten, s'ha posat en relleu la gran dificultat d'obtenir bones estimacions d'aquest reservori i també el pes d'altres agents, com ara els canvis d'usos del sòl, que poden ser molt més determinants en l'evolució d'aquest reservori que no pas el canvi climàtic mateix.

Les accions adreçades a la preservació de la qualitat o de la salut del sòl són bons enfocaments per a la protecció d'aquest recurs natural, però sovint no aporten gaire llum sobre quines han de ser les accions quan hom intenta gestionar el sòl davant del canvi climàtic. Alguns autors (Janzen, 2015) han indicat que és més important mantenir els fluxos d'energia i de matèria per mitjà dels sòls que no pas centrar-se exclusivament en la grandària dels reservoris.

Una altra constatació important, ja coneguda d'an-tuvi, és l'evolució lenta en el temps de les propietats i característiques del sòl, fet que, per més que es dediquin esforços valuosos a la recerca, no permet aportar grans novetats en terminis quinquennals. Per aquesta raó, en aquest INFORME només recollim els aspectes més destacats i no tractarem quantificacions o valoracions ja realitzades en informes previs.

Finalment, cal remarcar que, el desembre del 2013, la 68a Assemblea General de l'Organització de les Nacions Unides (ONU) atorgà al sòl el reconeixement que es mereix en declarar, alhora, l'any 2015 com a Any Internacional dels Sòls i el 5 de desembre com a Dia del Sòl. Iniciatives com aquestes han tingut el suport de l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO), que va crear l'Aliança Mundial pel Sòl, i també de la Unió Europea (UE). Es tracta d'un intent de donar al sòl el mateix tractament que, des de fa temps, reben altres recursos naturals com ara l'aire, l'aigua i la biodiversitat, i de valorar el paper que té amb relació al canvi climàtic. Cal esperar que els organismes i les administracions públiques emprenguin les actuacions necessàries per a assegurar, on calgui, la protecció i/o la conservació del sòl.

12.2. Processos edàfics influenciats pel canvi climàtic

12.2.1. Emmagatzematge de carboni al sòl i límit per saturació

Les reserves de carboni en sòls agrícoles de la Catalunya semiàrida són de 100 Mg ha⁻¹ (fins a 1 m de fondària). Es disposa de més dades de la resta del país, però no s'han elaborat. Quant als sòls forestals, les estimacions publicades indiquen valors mitjans lleugerament més petits; en el capítol 3 d'aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA se'n dona més informació.

El concepte de saturació de carboni es refereix a la quantitat màxima de carboni orgànic que el sòl pot establir atesos els mecanismes interns de protecció de la matèria orgànica. Actualment, s'aporta informació rellevant sobre la dimensió temporal d'aquests mecanismes i s'indica que calen decennis per a detectar canvis significatius en el carboni orgànic del sòl i poder estimar el grau de saturació assolit. Per exemple, no s'ha arribat a detectar la

saturació de carboni en mol·lisòls a Ucraïna que s'havien cultivat anteriorment i abandonat gairebé fa seixanta anys. Una de les maneres més comunes d'accelerar l'emmagatzematge de matèria al sòl consisteix en l'addició d'adobs orgànics, tot i que hi ha autors que han demostrat que amb aportacions de més de 2,5 Mg C ha⁻¹ any⁻¹ es produeix una reducció significativa de l'eficiència dels mecanismes d'estabilització. Determinades esmenes orgàniques es poden conservar al sòl durant períodes de temps relativament llargs gràcies a la riquesa en compostos resistents a l'atac microbià. Cal tenir en compte, però, que sobretot enriqueixen els horitzons superficials del sòl i que perquè tot el sòl arribés a nivells propers a la saturació de carboni caldria que existís un transport vertical de matèria orgànica prou eficient per a incorporar-la, que no sembla produir-se en les nostres condicions edafoclimàtiques. Per tant, saber quant carboni hi ha al sòl no és suficient, sinó que cal conèixer, també, la capacitat de segrest de carboni que tenen. La informació disponible per als sòls agrícoles catalans indica que encara som lluny del grau teòric de saturació, però probablement no en som tan lluny en el cas dels sòls forestals. Cal més recerca sobre aquest tema.

12.2.2. Pèrdues per respiració heterotròfica

Les previsions de canvi climàtic a Catalunya per als propers decennis indiquen que afectarà el sòl i la dinàmica de la matèria orgànica que conté, malgrat que aquests efectes encara són poc previsible. L'efecte de l'increment de la temperatura en la mineralització de la matèria orgànica es pot estudiar per mitjà del paràmetre Q10.¹ Hamdi *et al.* (2013) l'estudien en una extensa varietat de sòls, i indiquen que els valors de Q10 sempre són positius, és a dir, que un increment de la temperatura sempre causa un increment en la mineralització de la matèria orgànica, que s'apropa a valors de 2 per a temperatures de 25 °C i a valors més grans per a temperatures inferiors. Altres autors demostren, a més, que la mineralització de la matèria orgànica augmenta per un efecte combinat de l'increment de la temperatura i de la concentració de CO₂ atmosfèric.

1. El paràmetre Q10 indica la modificació de la cinètica d'un procés químic o biològic en incrementar-se 10 °C la temperatura.

Ara bé, un increment de la temperatura lligat a un descens de l'aigua disponible al sòl, un escenari previsible del canvi climàtic a Catalunya, pot tenir conseqüències que segueixen sent incertes atès l'efecte advers que la manca d'aigua exerceix sobre l'activitat microbiana. En un escenari amb temperatures més altes cal esperar més mineralització en els períodes amb disponibilitat d'aigua. L'anàlisi comparativa del contingut de carboni al sòl a Itàlia, en els períodes 1961-1990 i 1991-2006, mostra que efectivament l'augment clar de la temperatura i la disminució aparent de la precipitació es relacionen amb una disminució del carboni del sòl, malgrat que es relacionen més amb els canvis d'usos del sòl i que els més afectats són els agrícoles i les pastures (Fantappiè *et al.*, 2011).

12.2.3. Producció de biomassa i modificació de la disponibilitat de nutrients

La productivitat de biomassa dels ecosistemes naturals o cultivats en un escenari de canvi climàtic presenta incerteses, ja que no es coneix prou, per exemple, com l'increment del CO₂ a l'atmosfera l'afectarà via plantes C3 o C4, o a causa del tancament dels estomes, que podria permetre incrementar l'eficiència en l'ús de l'aigua. Aquests possibles canvis en la producció de biomassa afegixen incertesa a la predicció dels efectes en el carboni orgànic que pot quedar retingut al sòl.

L'augment de l'aridesa pel canvi climàtic previsible a bona part de Catalunya provocarà un desajust als cicles biogeoquímics d'alguns elements, especialment el C, el N i el P. Segons Wardle (2013) i altres treballs, s'observa una disminució del contingut de C i de N als sòls en augmentar l'aridesa i, per tant, un augment relatiu de P (a partir de mesures de C, N i P en 224 sòls d'arreu del món que representen un gradient d'aridesa). En sòls sobrefertilitzats, el desajust entre els cicles del C i del N o del P pot ser més gran i comportar més emissions de C i de N, si bé caldria més recerca en aquests aspectes a Catalunya.

12.2.4. Impactes del canvi climàtic en la biodiversitat edàfica

La pèrdua de biodiversitat del sòl és una amenaça reconeguda a Europa a l'*Estrategia Temàtica para la Protección del Suelo* [COM(2006) 231 final].

S'estima que, com a mínim, una quarta part de la biodiversitat global es troba als sòls. El canvi global, especialment pels canvis d'usos del sòl, l'extensió dels monocultius, la sobrefertilització, l'ús de plaguicides i la contaminació, modifica les comunitats d'organismes del sòl i, en general, comporta una pèrdua de biodiversitat amb conseqüències no sempre ben establertes. La pèrdua de biodiversitat edàfica acostuma a seguir una tendència paral·lela cap a la pèrdua de matèria orgànica, ja que la major part d'organismes del sòl en són consumidors (heteròtrofs). Ara bé, a Catalunya no es disposa d'una xarxa de seguiment de la biodiversitat del sòl que permeti avaluar la importància de l'afectació.

Un augment de l'escalfament i de la durada dels episodis de sequera que afecti els horitzons superficials del sòl agreujarà el risc d'extinció d'algunes espècies sensibles, cosa que a la llarga pot comportar pèrdues i canvis en la biodiversitat edàfica (Jeffery *et al.*, 2010). Molts estudis fan referència als efectes del canvi climàtic en l'activitat de la microbiota, més que als efectes en la riquesa o la diversitat d'espècies. Certament, l'increment de temperatura causat pel canvi climàtic té un efecte directe en molts processos biològics, especialment microbiològics, però cal tenir present que les fluctuacions tèrmiques que es produeixen a la superfície s'esmoreeixen molt a l'interior del sòl i, per tant, els organismes amb mobilitat poden compensar l'increment de temperatura traslladant-se a més fondària. En general, l'increment de temperatura comporta un augment de l'activitat microbio-

lògica quan l'aigua no és limitant. La combinació de més temperatura amb sequera pot comportar l'augment de períodes inactius, cosa que podria afectar el manteniment de les poblacions de determinades espècies. Ara bé, l'activitat microbiana es produeix en forma de pulsacions quan les condicions d'humitat i temperatura són favorables, la qual cosa fa difícil preveure els efectes directes del canvi climàtic. Els organismes que es veurien més afectats són els que viuen en els films d'aigua dels porus del sòl, com els nematodes que passen a fases de cistos o a estats de dormància quan les condicions de temperatura o humitat són desfavorables i que, per tant, estarien més temps en fases inactives. La taula 12.1 mostra una síntesi dels efectes del canvi climàtic sobre comunitats microbianes del sòl.

Els efectes combinats que l'increment de la temperatura, la concentració atmosfèrica de CO₂ i la reducció de la disponibilitat d'aigua puguin exercir en la diversitat edàfica són difícils de preveure, i avui encara poc estudiats.

12.2.5. Erosió

Les dades i els mapes més recents de la UE mostren que l'erosivitat de la pluja a Catalunya té una gran variabilitat espacial: els valors arriben a 600 MJ ha mm⁻¹ h⁻¹ a la vall de l'Ebre, al voltant de 1.000 MJ ha mm⁻¹ h⁻¹ a la Catalunya central, als ports de Beseit i a la Mediterrània sud, i més de 1.300 MJ ha mm⁻¹ h⁻¹ als Pirineus i a la Mediterrània nord. Quan es refereixen a mil·límetres de pluja (densitat d'erosivitat), els valors varien entre 1,2 (O)

TAULA 12.1. Resum dels impactes del canvi climàtic en les comunitats microbianes del sòl

	CO ₂ elevat	Escalfament	Sequera
Diversitat microbiana	↔	↔	↑
Diversitat bacteriana	↔	↓	↓
Diversitat fúngica	↔	↔	↔
Abundància microbiana	↑	↑	↔
Abundància bacteriana	↔	↑	↓
Abundància fúngica	↑	↑	↑

La major part d'estudis indiquen un efecte positiu (↑), negatiu (↓) o indiferent (↔). El color vermell indica més seguretat en la conclusió.

Font: Adaptat de Vries *et al.*, 2015.

i 2,3 (NE), i són més erosives les unitats de pluja de la Mediterrània nord. Per tant, les zones de més risc d'erosió serien els Pirineus (alta precipitació, alta densitat), i la zona de la vall de l'Ebre (baixa precipitació, alta densitat). Amb un canvi climàtic que derivés en un augment de la irregularitat de les pluges, aquestes zones de risc es mantindrien o augmentarien en incrementar la densitat d'erosivitat.

L'evolució de la coberta del sòl del 1993 al 2009 a Catalunya (CREAF, 2013) mostra, d'una banda, un augment de boscos i prats i una disminució de matollars i conreus, la qual cosa comporta, en principi, una més bona protecció del sòl respecte a l'erosió a escala del país. D'altra banda, però, el gran augment relatiu de la coberta urbana, l'efecte segellador i l'augment de l'escolament són factors desfavorables. A més, l'evolució de la densitat de la coberta vegetal davant d'un canvi climàtic derivaria de la disminució de la producció de biomassa i, per tant, de la disminució de la protecció del sòl a l'erosió. Aquestes dades, però, no permeten preveure l'efecte global del canvi climàtic i l'erosió en el futur.

Algunes de les pràctiques de conservació de sòls que la UE considera a escala continental són el conreu a nivell, els bancals de pedra i els marges. A Catalunya s'estima que els bancals de pedra són els més abundants i que redueixen el risc d'erosió un 38 %. La pèrdua de funcionalitat, com es

pot observar en molts indrets de Catalunya, les construccions dràstiques de terrasses o l'eliminació condueixen, però, a increments importants de l'erosió.

12.2.6. Aridificació

L'aridificació, entesa com el procés que condueix a una disminució de la disponibilitat d'aigua al sòl, és un dels efectes més clars del canvi climàtic. L'alta variabilitat geogràfica de climes a Catalunya, que inclou des de climes humits fins a climes mediterranis semiàrids i àrids, comporta que precisament les zones de transició siguin les més afectades per la desviació cap a règims amb més manca d'aigua, no tant per una disminució de la precipitació, sinó per un augment de l'evapotranspiració potencial (ET_0) relacionada amb l'augment de la temperatura. La tendència previsible serà una despesa més gran d'aigua del sòl a la Catalunya humida —actualment sense manca d'aigua— i probablement una despesa igual o més petita als climes mediterranis i àrids, per la manca d'aigua disponible. La figura 12.1 mostra la projecció de les previsions per a dues estacions amb climes contrastats com ara Mollerussa (Pla d'Urgell) i Castellfollit de la Roca (Garrotxa). Si bé la llargada de l'estació seca ($P < ET_0$) només varia en la segona en la previsió 2031-2050 (de tres a quatre mesos), es produeix una reducció de la despesa d'aigua en el primer cas que s'estabilitza per la manca de disponibilitat d'aigua, i un augment progressiu en el segon, que arriba a 77 mm en la previsió a mitjà

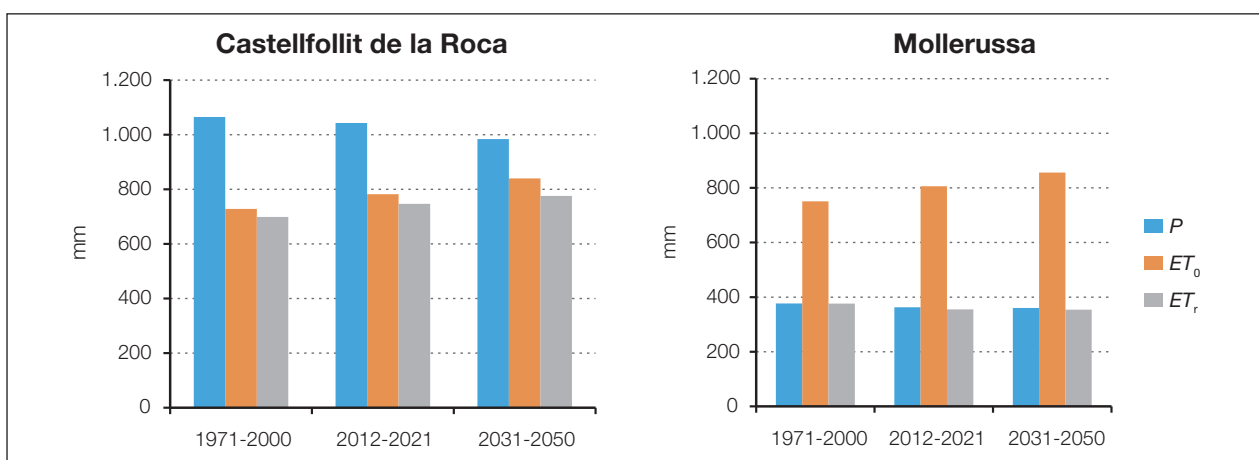


FIGURA 12.1. Canvis en la precipitació (P), l'evapotranspiració potencial segons Thornthwaite (ET_0) i l'evapotranspiració real (ET_r) en mm, a les estacions de Castellfollit de la Roca i Mollerussa, per a la sèrie normal actual (1971-2000) i les projeccions decennals 2012-2021 i 2031-2050 (vegeu el capítol 5). Es considera una reserva d'aigua al sòl de 100 mm.

Font: Les dades de precipitació i temperatura per al càlcul de l' ET_0 provenen de l'INM.

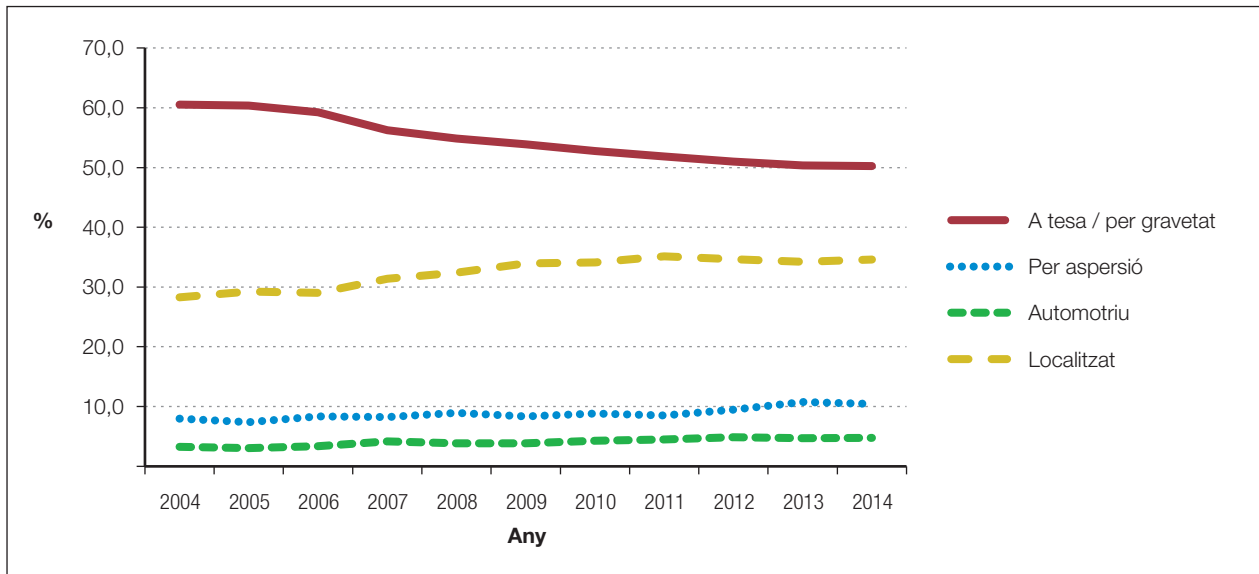


FIGURA 12.2. Evolució de les superfícies dedicades als diferents tipus de reg (%), referides al total de la superfície regada a Catalunya.

Font: MAGRAMA, 2015.

termini. Aquests canvis s'accentuarien en sòls amb menys capacitat de retenció d'aigua (els somers i/o pedregosos).

12.2.7. Salinització i regadius

L'augment de salinitat és un dels efectes més clars i ràpids del canvi climàtic pels canvis que comporta en la dinàmica de les sals més solubles que el guix, d'una gran mobilitat al paisatge i als sòls. La salinització es produeix, d'una banda, per un augment de l'evapotranspiració (ET) i una disminució del rentatge, que comporten un increment de la concentració de sals a menys fondària, i, de l'altra, per la gestió inadequada del reg.

L'augment d' ET_0 previst per a l'escenari A1B² vers l'any 2050 no és tan elevat a Catalunya, on són esperables increments de 30 a 90 mm anuals, com a la Mediterrània sud, amb increments de fins a 150 mm anuals. Combinats amb la modificació del règim de precipitacions, aquests canvis poden comportar, fins i tot, una reducció de l'evapotranspiració real (ET_r) en diferents cultius, ja que

se n'escurça el cicle, cosa que fa difícil elaborar-ne una predicció.

Els sòls més afectats per la salinitat es troben a les zones regades de l'interior (Noguera, Urgell, Pla d'Urgell i Segrià), on les aigües de reg provenen, majorment, del Pirineu i no són salines, i a les zones costaneres (els aiguamolls de l'Empordà i els deltes del Llobregat i de l'Ebre). No existeixen estudis prou llargs i comprensius que permetin constatar un augment de la salinitat en aquests sòls en els darrers decennis. Herrero i Castañeda (2013), en un estudi comparatiu de sòls salins a la vall de l'Ebre en un període de vint anys (1980-2000), no observen diferències en salinitat ni en sodicitat llevat dels casos en què hi ha hagut un canvi d'ús del sòl.

Actualment, la superfície regada de Catalunya és el 25,7 % de la superfície agrícola, que al seu torn és el 30,4 % de la superfície total (251.070 ha). En el futur, podrà variar lleugerament amb les noves posades en reg (al canal Segarra-Garrigues, unes 40.000 ha). L'evolució dels tipus de reg (figura 12.2) mostra una tendència cap a regs més eficients.

El maneig de les àrees regades en l'escenari d'un canvi climàtic és especialment complex, perquè si, d'una banda, es tendeix a substituir els sistemes tradicionals per sistemes més eficients en l'ús de

2. Existeixen models d'evolució socioeconòmica i ambiental que consideren un conjunt de situacions pel que fa a l'evolució de la població, les fonts d'energia i l'economia, i que permeten fer projeccions de com podria evolucionar el sistema climàtic de la Terra. L'escenari A1B correspon a una previsió de creixement econòmic ràpid, que s'estabilitza a mitjan segle XXI i que combina les diferents fonts d'energia (fòssils i renovables).

l'aigua, que generen menys drenatge, aquest darrer és sempre necessari per a rentar les sals. A més, els cultius experimentaran més requeriments d'aigua, cosa que, juntament amb la disminució de la disponibilitat, obligarà a modificar cultius i sistemes de reg. En el cas del reg localitzat, si la fracció de rentatge aplicada no és suficient es provocarà una redistribució espacial de les sals al sòl i a la finca, perquè no s'eliminaran, i un augment de la dificultat en el maneig al llarg de les rotacions.³ S'han mesurat increments del 82 % en la salinitat del sòl a la vall de l'Ebre en reg deficitari controlat⁴ de fruiters amb aigua moderadament salina (cosa que no es produeix en la major part dels regs de Catalunya) del 2007-2012, davant d'un decrement del 75 % en sòls no regats (Aragüés *et al.*, 2015), causat, bàsicament, per les fraccions de rentatge més petites. Els mateixos autors preveuen dificultats serioses en el manteniment dels regadius en les condicions actuals a la vall de l'Ebre a final de segle (2071-2100) en els escenaris A2 i B2.⁵ En condicions de recursos hídrics limitats, la reutilització d'aigües residuals també pot ser una opció en algunes zones; caldrà tenir en compte les fraccions de rentatge corresponents per a evitar la salinització del sòl.

12.3. Processos que incideixen en el canvi climàtic. Emissions de GEH a partir del sòl

Els efectes dels processos edàfics en les emissions dels GEH sovint s'han basat en el balanç dels reservoris, sense tenir prou en compte que els reservoris mateixos depenen de l'entrada i dels fluxos d'energia en els sistemes. L'energia incident en el sòl es destina, en part, a la respiració d'organismes i, en part, a conservar l'estoc de matèria orgànica, el qual tendeix a un emmagatzematge

màxim de carboni per a entrades de matèria i d'energia constants (Janzen, 2015).

Els ecosistemes amb més carboni emmagatzemat no són, necessàriament, els de més qualitat. Un sòl amb menys carboni emmagatzemat però que recicli l'energia més ràpidament de vegades pot exercir més funcions i més importants per als ecosistemes que els sòls amb més carboni emmagatzemat però menys reactiu. En efecte, calen uns nivells mínims de mineralització per a assegurar el reciclatge de nutrients, el creixement de microorganismes, l'estabilitat estructural i la biodiversitat edàfica, entre d'altres. Per tant, el maneig de fluxos hauria de prevaler davant del maneig de reservoris (Janzen, 2015).

Quant a les emissions de GEH en agroecosistemes de secà, en un experiment a llarg termini en cereal a Agramunt, Plaza-Bonilla *et al.* (2014) mostren que el no-conreu produeix més emissions de CO₂ que el conreu convencional, però que amb referència al pes (kg) del gra produït, les emissions s'inverteixen a causa d'una producció més gran i una despesa energètica més petita en el no-conreu (0,51 i 1,07 kg CO₂ equiv./kg de gra). Aquestes emissions solen ocórrer en forma de pulsacions després de pluges (fins a 33,4 kg C-CO₂ ha⁻¹ dia⁻¹) o d'operacions de conreu. En general, el sòl actua com un embornal de CH₄ (-1,3 no-conreu i -0,58 conreu convencional, en kg C ha⁻¹ any⁻¹).

Una gestió correcta de la fertilització amb purins i d'altres adobs nitrogenats és molt important, indirectament, per a controlar les emissions de GEH. L'amoniac (NH₃) és un gas que s'emet normalment dels sòls tractats amb adobs amoniacals (com ara purins, gallinassa i minerals) i que un cop al sòl i a l'atmosfera es pot transformar en N₂O o en NO. A tall d'exemple, en un sistema cerealista de secà a Oliola (Noguera) la mitjana de les emissions de NH₃ acumulades durant un any, mesurades en experiments de fertilització amb purins, va ser més gran a l'estiu (122 kg N-NH₃ ha⁻¹) que a la primavera (99 kg N-NH₃ ha⁻¹), i va ser afectada pel grau d'incorporació dels purins al sòl (llaurat o no, després de la incorporació; Yagüe i Bosch, 2013). Les emissions de N₂O i de NO en sistemes de regadiu són més petites que les d'amoniac, però com que

3. Aquests efectes es produeixen, actualment, a Califòrnia, que pateix una sequera greu des de l'any 2012 (Wallander, 16 abril 2015). Les solucions que es duen a terme són: maneig acurat de l'aigua de reg, ús d'aigües residuals als cultius que ho permeten, eficiència en el rentatge de les sals i sistemes de reg més eficients com, per exemple, el reg subterrani.

4. Fa referència a l'aportació d'aigua per sota dels requeriments totals del cultiu, de manera que els efectes en la producció són negligibles i en alguns cultius (com ara fruiters, vinya i olivera) poden mantenir o millorar la qualitat.

5. Els escenaris A2 i B2 corresponen a previsions d'emissió de GEH mitjanes-altes i mitjanes-baixes, respectivament.

TAULA 12.2. Canvis d'usos del sòl (ha) a Catalunya entre el 1993 i el 2013

Usos	1993	2001	2005	2009	2013
Forestal i vegetació natural	(1.953.667)	2.370.831	2.094.387 (2.080.535)	2.161.397 (2.076.648)	2.160.924
Conreus:		937.312	917.132 (942.929)	856.609 (935.206)	836.736
— secà	(1.106.782)	661.200	655.961	586.014	
— regadiu		266.112	261.071	260.595	570.876
— arrossars			(22.105)	(22.197)	265.860
Urbanitzat i altres	(133.725)	207.526	196.926 (187.137)	201.198 (198.809)	211.545

Font: Elaborat a partir de les dades de l'Idescat i el CREAM. Entre parèntesis, dades de diferents edicions del *Mapa de cobertes del sòl de Catalunya* (CREAF).

produeixen un efecte d'hivernacle més gran que el CO₂ cal minimitzar-les.

12.4. Indicadors de canvis del reservori de carboni

12.4.1. Tendències actuals dels canvis d'usos del sòl

La taula 12.2 presenta un resum de la informació de l'Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) per al període 2001-2013 i dels mapes de cobertes del sòl del CREAM (1993-2009). L'ús d'aquestes dues fonts és necessari per a disposar d'una perspectiva temporal adequada. Tot i que les metodologies i les fonts d'informació són diferents, permeten arribar a conclusions similars respecte als canvis d'ús del sòl.

Es produeix un increment notable en la superfície de boscos i àrees de vegetació natural, i una regressió de les àrees cultivades (taula 12.2). Concretament, des del 1993 fins al present la superfície de conreus de Catalunya s'ha reduït

un 12,15 % (134.000 ha); mentre que el 1980 el 32,4 % del territori era agrari, el 2013 només ho era el 26,3 %. És ben evident que el creixement de les àrees de vegetació natural es produeix mercès a la disminució de les àrees marginals de conreu, especialment el de secà. No es disposa d'estudis acurats sobre el que això significa en termes d'emmagatzematge de carboni, si bé no cal pensar en canvis gaire significatius atesa la marginalitat i la baixa productivitat en biomassa de molts dels camps de conreu abandonats. Per tant, les àrees de conreu disminueixen i les de regadiu es mantenen, ja que les que es destrueixen pel creixement urbà i industrial es compensen amb nous regadius. Al territori català, augmenten les rompudes de terrenys forestals amb finalitats agropecuàries. Per a aconseguir l'autorització, quan afecten superfícies superiors a deu hectàrees cal presentar un pla de conservació del sòl. Encara que aquest canvi d'ús potencia l'emissió del carboni emmagatzemat als sòls forestals, de moment té poca rellevància perquè afecta anualment unes mil hectàrees.

TAULA 12.3. Canvis d'usos del sòl (ha) a l'àmbit metropolità de Barcelona (1956-2009)

Ús del sòl	1956	1993	2005	2009
Total forestal	165.489	184.538	193.474	192.361
Conreus	140.410	84.811	60.656	59.267
Improductiu artificial (urbà i industrial)	17.347	54.219	69.329	71.824

Font: CREAM.

Les àrees urbanes han experimentat un fort creixement que podria arribar a les quinze mil hectàrees en els darrers quinze anys. Cal destacar que alguns usos que contribueixen significativament al canvi climàtic, com ara els arrossars, es mantenen estables al llarg del temps.

En algunes àrees on s'han estudiat els canvis ocorreguts a partir del 1956 és possible constatar clarament el creixement urbà i industrial (bona part d'aquest creixement abans esmentat s'havia produït a l'àrea metropolitana de Barcelona) i el pas cap a la vegetació natural de la major part dels sòls agrícoles de secà (taula 12.3). A Itàlia s'ha constatat que els canvis en la quantitat total de carboni emmagatzemat al sòl van més lligats als canvis d'ús que no pas als increments de carboni en cada tipus de sòl. A Catalunya molt probablement s'arribaria a una conclusió similar.

12.4.2. Efectes del tipus de maneig dels sòls

En sòls agrícoles, un dels sistemes de maneig més estudiats és l'agricultura de conservació, que intenta minimitzar les operacions mecàniques i la intensitat del treball del sòl. En una metaanàlisi d'experiències en cultius de secà a la península Ibèrica, González-Sánchez *et al.* (2012) mostren increments de carboni al sòl de 0,08 a 0,96 Mg ha⁻¹ any⁻¹ en

no-conreu i de 0,02 a 0,77 Mg ha⁻¹ any⁻¹ en conreu mínim, ambdós respecte al conreu convencional en climes mediterranis.

A Catalunya, els conreus llenyosos amb algun tipus de pràctica de conservació ja ocupen el 68 % de la superfície (taula 12.4). En conreus extensius, per contra, només el 20 % és sembra directa, tot i que el conreu tradicional ja correspon al conreu mínim en molts indrets. Els canvis més notables des del 2007 a l'Estat espanyol han estat l'augment de les cobertes herbàcies en fruiters (tot i que el conreu mínim no varia) i l'augment d'un 5 % de la sembra directa en conreus extensius. De totes maneres, el conreu de conservació no és una tècnica de maneig adient per a tots els sòls, en particular per als sòls amb una susceptibilitat alta a la compactació.

La complexitat dels sistemes de regadiu implica que la interacció del reg amb altres factors (com ara la fertilització, el conreu o l'activitat dels organismes del sòl) també influeix molt en l'emmagatzematge de carboni orgànic, de manera que els balanços dels processos esmentats poden comportar un emmagatzematge positiu de carboni o emissions netes de CO₂ i d'altres GEH, segons la resta de condicions ambientals i el cost energètic de la posada en reg (Trost *et al.*, 2013). En tot cas, aquests autors constaten increments nets de car-

TAULA 12.4. Superfícies ocupades per diferents tècniques de conreu a Catalunya l'any 2014

	Tècniques en conreus llenyosos		Tècniques en guarets		Tècniques en conreus extensius		
	ha	%	ha	%		ha	%
Conreu tradicional	33.090	10,8	8.186	24,3	Sembra tradicional	320.038	80,4
Conreu mínim	94.943	30,9	8.438	25,1	Sembra directa	77.047	19,4
Coberta vegetal espontània	87.970	28,6	10.252	30,4	Sense informació	738	0,2
Coberta vegetal sembrada	640	0,2	—	—	—	—	—
Coberta inert	6.777	2,2	34	0,1	—	—	—
Sense manteniment	59.046	19,2	6.764	20,1	—	—	—
No-conreu	24.950	8,1	—	—	—	—	—
Sense informació	68	0,0	—	—	—	—	—
Total	307.484	100	33.674	100,0	—	397.823	100

boni orgànic al sòl en posar-los en reg, que són més grans com més àrid és el clima.

12.4.3. Gestió de residus orgànics al sòl i efectes en el reservori de carboni i en la qualitat del sòl

Una de les funcions del sòl és reciclar matèria orgànica i elements, però això no vol dir que pugui assimilar qualsevol mena de residus i en una quantitat il·limitada. Per a poder mantenir la qualitat del sòl sense perjudicar la de l'aigua o la de l'aire, només pot rebre residus orgànics⁶ de qualitat, lliures de substàncies indesitjables i en la dosi adequada. A Catalunya, la gestió de residus es va adaptant als objectius de la UE mitjançant el Programa General sobre Prevenció i Gestió dels Residus (PRECAT, 2014) i altres normes sobre la gestió dels residus ramaders. Els residus orgànics que es poden valoritzar al sòl i les quantitats valoritzables als sòls de Catalunya figuren al SICCC.

De les quasi tres milions de tones de residus biodegradables generades l'any 2011 (PRECAT, 2014), el 51 % foren d'origen municipal, el 30 %, d'origen industrial, i la resta, el 19 %, fangs d'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR). La recollida selectiva dels residus municipals va augmentant a mesura que la recollida arriba a més habitants, i ha permès anar reduint la quantitat de residus destinada a dipòsits controlats i millorar-ne la qualitat i, per tant, les possibilitats de valoritzar-los al sòl. Avui dia, la fracció orgànica dels residus municipals (FORM) supera el 38 %, encara que amb disparitats territorials i lluny dels valors assolits en altres països europeus (més del 60 %). Les restes vegetals de jardineria i poda, anomenades *fracció vegetal*, també es recullen selectivament; actualment se'n recullen unes 20.000 t/any.

Abans de valoritzar els residus orgànics al sòl o com a substrat de cultiu, se n'han de sotmetre

molts (FORM, fracció vegetal i residus orgànics d'origen agroindustrial) a un tractament biològic.⁷ Cal destacar que l'any 2014 s'arribaren a gestionar unes 5.000 t de matèria orgànica en autocompostatge municipal. La valorització amb finalitats de comercialització és subjecta a la normativa espanyola de productes fertilitzants (Reial decret 506/2013, del 28 de juny, sobre productes fertilitzants) i de substrats (Reial decret 865/2010, del 2 de juliol, sobre substrats de cultiu). Les dejeccions ramaderes se solen aplicar al sòl sense tractament previ, per la qual cosa no han de seguir aquestes normes, i els fangs EDAR tenen normativa pròpia (Reial decret 1310/1990, del 29 d'octubre, pel qual es regula la utilització de llots de depuració en el sector agrari). Per assegurar que en el futur el compost produït a Catalunya tingui més bona qualitat (categories A i B, segons el Reial decret 506/2013 i el Reial decret 865/2010) es volen impulsar mesures dirigides als gestors d'instal·lacions de tractament perquè adoptin sistemes de garantia de qualitat.

Els residus no recollits selectivament (o fracció restant) encara són el 60 % del total. L'any 2014 menys de la meitat d'aquesta fracció rebé com a destinació la incineració o el dipòsit controlat, i el romanent fou sotmès a un tractament mecanicobiològic (la separació d'alguns materials valoritzables i la descomposició de la matèria orgànica) que produeix l'anomenat *residu bioestabilitzat*, que avui dia rep, majorment, la mateixa destinació que la fracció no tractada. Catalunya, com altres països europeus avançats, en prohibeix l'ús als sòls, que directament o indirectament esdevenen un suport per a la producció alimentària humana. En canvi, es busquen vies per a valoritzar-lo com a material que, utilitzat adequadament en determinades intervencions (com ara l'obra pública, la jardineria i la rehabilitació de sòls), pot comportar una millora dels sòls.

6. Els residus orgànics també s'anomenen *residus biodegradables* (perquè són susceptibles de degradació biològica), un concepte ampli que n'aplega molts d'altres, o *bioresidus* (residus biodegradables de jardins i parcs, residus alimentaris i de cuina procedents de llars, restaurants, serveis de restauració col·lectiva i establiments de consum al detall, i residus comparables procedents de plantes de transformació d'aliments), que és com els anomena la UE.

7. El tractament biològic consisteix en la degradació biològica de la matèria orgànica per compostatge (estabilització de la matèria orgànica en condicions aeròbiques controlades; el producte final és el compost, i se sol aplicar als RM) o per digestió anaeròbica (estabilització parcial de la matèria orgànica; el producte final és el digerit o digest, i se sol aplicar als purins de porcí). Alguns residus, com ara els d'origen agroindustrial o els fangs EDAR, es poden tractar amb qualsevol d'aquests dos sistemes i barrejats amb altres residus orgànics.

La generació de dejeccions ramaderes també és considerable a Catalunya, com ho és la riquesa d'elements fertilitzants que l'acompanyen (N i P). D'acord amb les directrius europees, les zones vulnerables als nitrats (Directiva 91/676/CEE) ocupen, actualment, el 70 % de la superfície agrària útil de Catalunya. La concentració de nitrats a les aigües subterrànies es manté estable, com succeeix en altres països comunitaris, la qual cosa obliga a revisar el Programa d'Actuació Aplicable a les Zones Vulnerables (Decret 136/2009, de l'1 de setembre, d'aprovació del programa d'actuació aplicable a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats que procedeixen de fonts agràries i de gestió de les dejeccions ramaderes) per fer molt més eficient aquesta gestió tenint en compte, també, el creixement experimentat per la ramaderia. Dos fets importants han afectat significativament la gestió de purins i fangs EDAR. El primer és el tancament de plantes d'assecatge tèrmic quan es va modificar la regulació del sistema elèctric (Llei 15/2012, del 27 de desembre, de mesures fiscals per a la sostenibilitat energètica). El segon és l'alteració de les condicions per a la generació d'energia a partir del biogàs procedent de la digestió i la codigestió de residus orgànics (Reial decret 413/2014, del 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus), que ha paralitzat les energies renovables, particularment les lligades al món agrari. Si aquestes limitacions persisteixen, els efectes ambientals s'agreujaran, perquè obliguen que ambdós residus s'apliquin a sòls propers i frenen el desenvolupament de les energies renovables, una alternativa energètica important per a la mitigació del canvi climàtic.

Si bé una aplicació eficient de residus orgànics al sòl permet mantenir el contingut de matèria orgànica i d'elements nutritius que li assegura una bona qualitat, no és fàcil quantificar-ne l'efecte sobre la mitigació del canvi climàtic. Per a poder fer-ne una estimació, no n'hi ha prou de conèixer la quantitat de residus orgànics aplicats, ja que el comportament al sòl depèn del tipus de residus orgànics, del tractament, de la dosi incorporada, de la tipologia del sòl receptor, de les condicions meteorològiques i, en el cas de la valorització agrícola, que és la majoritària, també depèn del conreu implantat i del maneig. A Catalunya, a mitjà i a llarg

termini la quantitat de carboni retinguda pel sòl pot representar del 25 al 30 % del carboni aportat pels residus orgànics, segons el grau d'estabilitat química dels residus orgànics. En principi, com més estable sigui la matèria orgànica del residu més quantitat en podrà retenir el sòl. En comptabilitzar els efectes sobre el canvi climàtic, també cal incloure-hi el cost energètic associat al transport i al tractament dels residus.

12.4.4. El biocarbó com a estratègia de mitigació dels efectes del canvi climàtic

El biocarbó (*biochar*) és la fracció sòlida de la transformació per piròlisi de diferents tipus de biomassa, destinada a ser aplicada al sòl com a esmena orgànica amb la finalitat de segrestar carboni i millorar-ne la fertilitat o bé a ser emprada com a substrat de cultiu alternatiu a la torba i altres productes d'origen forestal (com, per exemple, l'escorça tractada). Es pot considerar una etapa més dins d'una estratègia per a l'aprofitament complet de la biomassa, amb l'obtenció d'energia, biocombustibles o determinats productes químics, i el biocarbó (habitualment d'un 20 a un 40 % de la biomassa inicial). És una de les propostes que es consolida amb més possibilitats per a compensar els efectes del canvi climàtic, ja que permet un bon aprofitament de molts tipus de biomassa residual, a més dels beneficis derivats del segrest de carboni orgànic al sòl (Lehman *et al.*, 2015). Per a implementar-la, caldria un replantejament parcial dels plans energètics (com ara el Pla de l'Energia i Canvi Climàtic a Catalunya 2012-2020) que no ho preveuen explícitament, a fi que una part significativa de la biomassa residual destinada a finalitats energètiques fos processada per piròlisi en lloc de ser sotmesa a combustió. En la selecció del tipus de biomassa per a produir biocarbó, cal evitar la competència amb altres usos prioritaris, com ara la producció d'aliments. Queda un marge d'aprofitament de residus orgànics relativament ampli, com, per exemple, la biomassa forestal, un aspecte ja previst en l'aprofitament energètic dels boscos recollit en el Pla General de Política Forestal de Catalunya 2014-2024. Ens trobem, per tant, en la situació que hi ha un potencial de recepció de biocarbó als sòls de Catalunya i com a substrat de cultiu, que no es pot cobrir per la manca de producció local d'aquest producte acumulador de carboni orgànic temporalment estable.

TAULA 12.5. Segrest de carboni en diferents experiments de rehabilitació de sòls d'àrees afectades per activitats extractives a cel obert a Catalunya

Localitat	Tractament de rehabilitació	Temps (anys)	Segrest de carboni (Mg C ha ⁻¹)
Girona	Control	17	16
	Addició de 200 Mg ha ⁻¹ de fangs EDAR	17	24
	Addició de 400 Mg ha ⁻¹ de fangs EDAR	17	35
Alcover	Plantació de pins sobre regolita pedregosa	6	0,7
	Plantació de pins amb sòl de reposició	6	26
	Plantació de pins amb sòl adobat amb 22,5 Mg ha ⁻¹ de fangs EDAR	6	33
Alcover	Parcel·les amb addició d'un gradient de dosis de fangs EDAR	15	38
Alcover	Plantació mixta sobre sòl de reposició	18	19
	Plantació mixta sobre sòl esmenat amb fangs EDAR	18	26

Font: Ojeda *et al.*, 2015; Ortiz *et al.*, 2012, i dades dels autors.

Les propietats agronòmiques del biocarbó depenen del tipus de biomassa de partida i del procés de piròlisi emprat per a obtenir-lo (Lehman *et al.*, 2015). Per tant, per a l'aplicació al sòl cal que compleixi uns estàndards de qualitat, com proposen la Iniciativa Internacional del Biocarbó i el Ministeri d'Agricultura de Suïssa. Els més adients com a esmenes de sòls són els obtinguts per l'anomenada *piròlisi lenta*, que també permet produir determinats combustibles (com ara lignofuel i *syngas*⁸). A més del segrest de carboni en una forma temporalment estable, se n'obtenen beneficis indirectes de l'aplicació al sòl: a) millora la retenció d'aigua i l'estructura, la fa més porosa; b) augmenta la retenció de nutrients, especialment del N aportat pels fertilitzants, cosa que redueix les possibles pèrdues per lixiviació i/o emissions a l'atmosfera; c) les cendres que acompanyen el biocarbó contenen K i P aprofitables pels conreus; d) corregeix el pH en sòls àcids, i e) estimula l'activitat microbiana en proporcionar microhàbitats. Aquestes millores provocades pel biocarbó semblen més clares en sòls àcids i de climes càlids i humits que no pas als de les zones temperades i semiàrides. Una metaanàlisi de resultats de diversos treballs d'aplicació de biocarbó sense l'addició de fertilitzants dona un increment de la producció agrícola del 10 % (Jeffery *et al.*, 2011).

8. El *syngas* o *gas de síntesi* és format, principalment, per una mescla d'hidrogen, CO i CO₂.

En resum, la implantació de la piròlisi com a tecnologia de valorització de la biomassa residual permetria aprofitaments molt interessants, com ara l'obtenció de determinats productes químics i biocombustibles (lignofuels), a més del biocarbó. Aquesta opció també és interessant per a un augment de la valorització dels boscos que doni nous aprofitaments a la biomassa forestal, cosa que revaloritzaria els treballs de gestió forestal a Catalunya, necessaris per a reduir el risc d'incendis. Per tant, el biocarbó és un element més, important dins de la concepció d'economia circular, que permetria un aprofitament complet de la biomassa residual, una alternativa complementària interessant per a la mitigació dels efectes del canvi climàtic i compatible amb el desenvolupament sostenible. Caldria fer una estimació de la capacitat de recepció de biocarbó dels sòls de Catalunya i establir un límit prudent que evités efectes potencials adversos. Això contribuiria al segrest de carboni orgànic, a més d'altres efectes beneficiosos per al sòl o com a alternativa a altres substrats de cultiu, sense esperar increments notables de la producció agrícola.

12.4.5. Rehabilitació de terrenys degradats en el marc del segrest edàfic de carboni

La recuperació del contingut de matèria orgànica en terrenys degradats pot tenir importància amb relació al segrest de carboni, que pot ser de diverses

desenes de Mg C ha⁻¹, sobretot gràcies a mecanismes de protecció física del carboni per a la formació d'agregats. En àrees molt degradades i en procés de recuperació, el retorn de carboni al sòl a partir de la biomassa vegetal produïda pot representar fins a un 88 % de l'estabilitzat (Gang *et al.*, 2012).

Una de les possibilitats efectives per a incrementar el contingut de matèria orgànica en la rehabilitació de sòls de mineria i de pedreres és l'aportació de fangs EDAR. A Catalunya, aquesta pràctica es realitza amb una certa regularitat des de final del 1992, fet que ha permès disposar d'àrees experimentals de prou edat (taula 12.5) per a poder valorar l'ordre de magnitud de la capacitat de segrest de carboni, a més de determinar la protecció física i la recalcitrància química com les raons principals que l'expliquen.

L'aportació de matèria orgànica durant els treballs de rehabilitació crea unes condicions que afavoreixen la colonització de la vegetació i el desenvolupament de l'estructura edàfica, per bé que la quantitat total aportada no sembla que tingui un efecte directe en la quantitat de matèria orgànica que el sòl podrà estabilitzar. Un experiment de quinze anys de durada a Alcover (dades dels autors) va mostrar que els sòls que havien rebut aportacions relativament baixes de fangs continuaven acumulant matèria orgànica durant els anys següents, mentre que els que havien estat adobats amb quantitats més grans en mostraven una pèrdua neta. L'estabilització dels nivells de matè-

ria orgànica en aquell sòl, independentment de la quantitat de fangs aportada, se situava en tots els casos en valors molt similars als de sòls propers no pertorbats, de característiques litològiques similars i amb el mateix tipus d'ús.

12.5. Implementació de les mesures mitigadores del canvi climàtic

El darrer informe sobre l'estat del medi ambient a Europa (2015) publicat per l'Agència Europea del Medi Ambient reconeix que les llacunes legislatives fan perillar la conservació dels sòls i que no s'avança adequadament cap als objectius principals de les polítiques (taula 12.6).

12.5.1. Normatives sobre la protecció del sòl

El gruix més important de la legislació ambiental de la UE va dirigit a la protecció, la conservació i la millora dels recursos naturals, essencialment els recursos hídrics, l'aire i els hàbitats. La proposta en forma de directiva per a establir un marc per a la protecció del sòl [COM(2006) 232 final] ha fracassat, i no hi ha indicacions que a mitjà termini reïxi. A hores d'ara, l'*Estrategia Temàtica para la Protección del Suelo* [COM(2006) 231 final] és el pal de paller en què es fonamenten les polítiques de sòl de la UE, que s'estableixen, per exemple, per mitjà de la política agrícola comuna (PAC) i també de la del desenvolupament rural. Així, per exemple, atès que les activitats agrícoles són causa d'erosió o de pèrdua de matèria orgànica, des dels inicis s'incorporaren mesures preventives en la PAC. Altres

TAULA 12.6. Tendències i perspectives d'acord amb els principals objectius quant a l'ús i les funcions del sòl a Europa

Objectius	Tendències o perspectives	Conclusió
Amb objectius establerts	Tendències negatives entre cinc i deu anys: es manté la tendència cap a la pèrdua de funcions del sòl per ocupació (urbana) i per degradació (per exemple, causades per l'erosió o la intensificació d'ús); aproximadament una tercera part del paisatge està molt fragmentada.	No s'avança adequadament cap als principals objectius de les polítiques.
	Perspectives més enllà de vint anys: no s'esperen canvis favorables ni en l'ús i la gestió del sòl, ni en els factors ambientals i socioeconòmics que els impulsen.	
Sense objectius establerts	Avançament cap als objectius de les polítiques: l'únic objectiu explícit, no vinculant, per al sòl és arribar a «una ocupació zero» ⁹ l'any 2050 i restaurar almenys el 15 % dels ecosistemes degradats l'any 2020.	Ocupació zero i restauració del 15 %.

Font: AEMA, 2015.

9. Aturar la pèrdua de sòl per a usos urbans o artificials, cosa que significa: a) no incrementar les zones urbanes i b) en cas d'ocupació per noves infraestructures, fer-ho en emplaçaments de ruïnes industrials o compensar la pèrdua de sòl recuperant ruïnes industrials existents.

normes, com ara les relatives al canvi climàtic, a les emissions industrials, als productes químics i als residus, contribueixen indirectament a alleugerar les pressions sobre el sòl i la biodiversitat.

Des de la publicació de l'*Estrategia Temàtica para la Protección del Suelo* [COM(2006) 231 final] s'han establert pocs fets jurídics de protecció. Primer, la Comissió Europea manifestà la necessitat de considerar l'ús sostenible i eficient del sòl a l'*Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos* [COM(2011) 571 final], de manera que les polítiques de la UE fins a l'any 2020 tinguessin en compte l'impacte directe o indirecte que ocasionen en els usos del sòl, a més d'aturar l'ocupació neta (ocupació zero) del sòl l'any 2050 (taula 12.6). Aquesta comunicació donà un tractament integrat als recursos naturals. Després, el programa general d'acció en matèria de medi ambient viable fins al 2020, «Viure bé, respectant els límits del nostre planeta» (Decisió 1386/2013/UE) reiterà la voluntat de mantenir la qualitat dels sòls. En ser retirada la proposta de directiva de protecció del sòl (Resolució DOUE 153, del 21 de maig de 2014), si es volgués reprendre caldria endegar de nou el procés corresponent. L'absència d'aquesta directiva deixa els sòls en condicions febles davant de les pressions demogràfiques i econòmiques. Així mateix, si bé en el document de l'acord de la XXI Conferència Internacional sobre Canvi Climàtic, celebrada a París a final del 2015, no s'esmenta explícitament el sòl, en l'adaptació a casa nostra serà necessari tenir en compte la gestió del sòl com a embornal de carboni i com a emissor de GEH, i aplicar mesures mitigadores com les que es proposen més endavant en aquest text.

A Catalunya, el març del 2015 el Govern aprovà el Projecte de Llei del sòl d'ús agrari, que té com a objectiu l'ordenació i la gestió dels sòls sotmesos a aquest ús (sòls no urbanitzables, segons l'ordenament territorial actual), per a afavorir la producció respecte a la pèrdua de conreus, i l'avançament progressiu de boscos i prats. Pretén conservar només els sòls d'ús agrari valuosos i productius, i alhora contribuir a la preservació i a la millora dels valors paisatgístics i ambientals. El segellament o pavimentació (l'acció de cobrir un terreny amb materials impermeables com ara el formigó o l'asfalt)

és un dels processos de degradació del sòl més preocupants, perquè l'hipoteca per a qualsevol altre ús futur, agreuja el risc d'inundacions, amenaça la biodiversitat i contribueix al canvi climàtic. Quan afecta terrenys agrícoles fèrtils, és especialment alarmant. Fins ara, per competències en matèria urbanística (Llei 3/2012, del 22 de febrer, de modificació del text refós de la Llei d'urbanisme), es classifica el territori municipal en sòl urbà, urbanitzable i no urbanitzable; independentment dels atributs propis dels sòls i únicament amb finalitats d'ús. És aquí que caldria fer una intervenció més efectiva per a protegir no solament els sòls agraris valuosos, sinó també altres sòls que es vulguin ocupar especulativament per altres usos que, amb tota probabilitat, els malmetran. Cal esperar que la nova llei del territori, en preparació a Catalunya, doni al sòl el tractament que es mereix i el deixi de considerar únicament com un medi de suport per al planejament urbanístic, al marge de les altres funcions i els serveis ecosistèmics que proporciona. Paradoxalment, hi ha més sensibilitat social per a protegir boscos singulars o valuosos que no pas per a protegir els sòls, agrícoles o no, que ens sustenten i forneixen d'aliments. D'altra banda, el Projecte de Llei del canvi climàtic, aprovat pel Parlament el gener del 2016, identifica en el preàmbul els canvis d'usos del sòl com una causa d'emissions de GEH i el paper del sòl com a embornal de carboni, i proposa l'ús eficient com a mesura per a reduir les emissions de GEH. Per tant, per a assolir els objectius que fixa aquesta llei caldrà millorar i actualitzar els inventaris de carboni al sòl i generalitzar mesures de conservació i bones pràctiques de maneig del sòl com les que s'esmenten a continuació.

12.5.2. Mesures mitigadores del canvi climàtic que impliquen el sòl

Quasi totes les activitats humanes terrestres es realitzen sobre el sòl, des de la producció de biomassa (conreus, boscos i prats) fins al suport polivalent de nuclis urbans, indústries, infraestructures de transport, d'esbarjo o d'emmagatzematge (pantans, abocadors de residus, etc.). Però pel que fa als usos, l'agrícola i l'ocupació amb pavimentació (o segellament) posterior són els que tenen una afectació més rellevant en el canvi climàtic. A més, la intensificació de l'ús condueix generalment a la degradació del sòl. En el capítol 11 del SICCC es

presentà una síntesi dels efectes que l'aplicació de diverses polítiques de la UE havien tingut sobre el segrest de carboni al sòl, i els efectes negatius eren deguts a la política agrícola, la política de residus (foment de la valorització de residus al sòl, tractat anteriorment en l'apartat 12.4.3), els cultius per a biocarburants i el benefici energètic dels residus biodegradables.

Des dels inicis, la PAC és la política que més ha afectat els usos del sòl. Originàriament, un dels mandats era garantir l'autosuficiència a la UE i prevenir l'abandó de les terres agrícoles, de manera que es produïa un augment dels ingressos dels agricultors. La protecció de les pastures permanents servia per a evitar canvis d'ús, però ara això ho decideixen les forces del mercat. Actualment, la PAC conté mesures per a fer-la més sostenible i supedita els ajuts al compliment de la legislació ambiental. Les pràctiques agrícoles beneficioses per al clima i l'ambient que figuren en la reforma recent (període 2014-2020) no són pas més exigents del que ho foren anteriorment: diversificació de conreus, manteniment de pastures permanents i manteniment de superfícies d'interès ecològic a les explotacions. Així mateix, per tal de fomentar la captura de carboni, promou el manteniment de pastures permanents mitjançant la prohibició de llaurar i la conversió de zones sensibles des del punt de vista ambiental en zones protegides de la Xarxa Natura 2000.

Amb la finalitat de promoure l'ús eficient dels recursos naturals, convindria adoptar un plantejament més ambiciós a llarg termini que, entre d'altres, incorporés mesures per a regular l'ocupació i la conservació dels sòls, i la reducció de la dependència de fertilitzants i de plaguicides minerals en sòl agrícola. Una bona gestió dels sòls permetria que poguessin tenir un paper més actiu en la mitigació del canvi climàtic, per la reducció d'emissions o per l'absorció de GEH. Tot depèn, però, de les capacitats de cada sòl i del maneig que rebí.

Les crítiques i les pressions exercides contra el conreu d'espècies destinades a la generació de biocombustibles han tingut ressò, i la UE ha revisat la normativa encara vigent (Directiva 2009/28/CE i Directiva 2014/77/UE). La proposta d'una nova directiva, aprovada recentment [COM(2014)

748 final], estableix que a partir d'ara s'impulsarà la reducció d'emissions de GEH per l'ús de carburants i la notificació d'emissions indirectes pel canvi d'ús de les terres (sòl agrícola). Les reduccions aplicables a l'ús de carburants es faran d'acord amb l'origen: així, els de cultius (panís, blat, remolatxa, colza, etc.) es reduiran fins a un màxim d'un 7 %; en el cas dels biocarburants avançats (restes de biomassa, residus, algues, etc.), són els estats membres els que tenen potestat per a rebaixar el límit un 0,5 % fins al 2016 i un 2,5 % fins al 2020, i, finalment, la proposta no prefixa límits als carburants de segona generació (conreus herbacis, pinyó de l'Índia, etc.). Ara per ara, es desconeix l'efecte que el conreu de biocarburants a Catalunya pot haver tingut en el canvi climàtic, ja que sembla molt petit. Comptabilitzar-ho no és fàcil, de manera que en acabar d'harmonitzar el procés la UE ha establert una metodologia per a calcular (Decisió 529/2013/UE) l'emissió o l'absorció de GEH (CO₂, CH₄ i N₂O) pel sòl amb relació a les activitats d'ús o de canvi d'ús de les terres i la silvicultura.

12.5.3. *Polítiques, plans i programes*

La normativa d'avaluació de l'impacte ambiental de projectes, plans i programes públics i privats (Llei 21/2013, del 9 de desembre, d'avaluació ambiental, i les directives corresponents 2001/42/CE i 2011/92/UE que ho regeixen) ha d'incloure els efectes potencials sobre els sòls. A Catalunya, quan s'aplica aquest instrument de prevenció el sòl no sempre és tractat adequadament. A vegades això succeeix per la manca d'informació de base, però moltes altres, pel fet de considerar que no hi és aplicable. A fi d'assegurar la conservació d'aquest recurs natural tan preuat, fóra convenient corregir aquestes deficiències. L'èxit de les actuacions de prevenció només es pot garantir amb la intervenció de professionals especialitzats, els edafòlegs, que s'han d'integrar en els equips d'avaluació i assessorament de l'òrgan competent que finalment autoritza la consecució del pla o del programa amb criteris de protecció o de conservació, segons escaigui, així com continuant o reactivant els programes de cartografia de sòls que generin mapes a escales útils per a conèixer bé el recurs. Actuant en l'àmbit del planejament es podria treure més profit del paper del sòl en la mitigació del canvi climàtic.

12.6. Conclusions

La profusió de treballs publicats sobre els sòls i el canvi climàtic ha fet palesa la complexitat d'aquest tema. Els canvis d'ús del sòl, que també es relacionen amb el canvi climàtic, tenen un pes més gran que el canvi climàtic mateix en les emissions de GEH del sòl, per la qual cosa s'han de tenir molt en compte en els estudis i en les polítiques de mitigació.

Les reserves mitjanes de carboni orgànic dels sòls agrícoles de la Catalunya mediterrània i semiàrida són de 100 Mg ha⁻¹ (fins a 1 m de fondària). Per a poder estimar la capacitat de segrest de carboni dels sòls de tot el territori català, caldria processar les dades disponibles i integrar-les en models globals.

Les previsions de canvi climàtic a Catalunya indiquen que els nostres sòls experimentaran una pèrdua lenta de matèria orgànica per mineralització durant els propers decennis. No obstant això, l'ús d'adobs orgànics en sòls agrícoles, o d'esmenes orgàniques en la rehabilitació d'espais degradats, pot contribuir a mantenir el reservori de carboni orgànic al sòl.

Una certa pèrdua de biodiversitat edàfica pel canvi climàtic a mitjà o llarg termini és previsible, però més petita que la causada per canvis d'usos i altres activitats humanes. Això podria repercutir negativament en el cicle biogeoquímic d'alguns nutrients i en el reciclatge de residus, però encara no hi ha prou informació per a valorar-ho.

L'aplicació de biocarbó (*biochar*) al sòl és una opció de mitigació dels efectes del canvi climàtic. Caldria modificar els plans d'energia actuals per a incloure el processat per piròlisi de biomassa residual, del qual s'obté *biochar*, energia i altres productes químics. A més, caldria fer una estimació realista i prudent de la capacitat de recepció de *biochar* dels sòls de Catalunya i de l'ús com a substrat de cultiu.

La combinació dels factors climàtics i de la vegetació i l'evolució en un canvi climàtic continuen indicant una tendència cap a l'augment de l'erosió. Tot i això, l'efecte es podria atenuar mitjançant pràctiques adients de conservació de sòls.

Pel que fa al risc d'aridificació, els sòls més resilient serien els de la Catalunya humida, ja que encara tenen un marge d'utilització addicional d'aigua disponible. Les implicacions dels canvis en la precipitació i l'evapotranspiració potencial pel canvi climàtic als sòls de zones seques varien segons si es troben en àrees de regadiu o no. En el primer cas, caldrà una dotació més gran pel reg; en el segon, provocarà una disminució de la producció de biomassa i de coberta vegetal.

Quant a l'emissió de gasos nitrogenats, ajustar les dosis de N a les necessitats dels cultius és la manera més eficient de reduir les emissions. Particularment, és molt important evitar les emissions d'amoni del purí o altres adobs amoniacals.

Les millores introduïdes en la gestió dels residus orgànics (com ara la segregació, la recollida i el tractament) produeixen un augment de la qualitat del producte final (compost i digerit) que cal valoritzar al sòl i facilitar l'ús i el manteniment de la qualitat ambiental.

Ni el marc normatiu existent ni les propostes recents són les més adequades per a protegir el sòl i per a reforçar-ne el paper en la lluita contra el canvi climàtic. Manca informació sobre el sòl i sobre les mesures més adequades en les nostres condicions per a la protecció i, de retruc, per a l'adaptació i/o lluita contra el canvi climàtic.

12.7. Recomanacions

Pel que fa als sòls, les mesures de mitigació del canvi climàtic seran efectives segons l'escala espacial i temporal a què s'apliquin. Respecte a la temporal, cal plantejar-les a mitjà o a llarg termini, atès el temps llarg de resposta del sistema sòl. Respecte a l'espacial, si bé els processos d'emmagatzematge de carboni actuen principalment en àmbits més locals, les polítiques aplicables actuen a escala de paisatge mitjançant mesures de gestió territorial. Per tant, cal treballar amb coneixement del sòl a diferents escales per a poder integrar tots els mecanismes de mitigació del canvi climàtic que siguin compatibles amb l'ús del territori.

Mantenir la qualitat dels sòls és la millor recomanació perquè els agroecosistemes contribueixin a mitigar els efectes del canvi climàtic. Per tant,

accions sobre els usos i el maneig dels sòls, per mitjà de la fertilització, d'esmenes orgàniques als sòls amb més capacitat de segrest de carboni o del conreu de conservació, podrien ser les eines més eficaces de mitigació. En aquest sentit, cal esperar que l'aprovació de la futura llei del sòl d'ús agrari hi contribueixi.

Convindria elaborar una estimació més precisa de la capacitat de segrest i del carboni efectivament emmagatzemat als nostres sòls, diferenciant el potencial dels sòls agrícoles dels forestals. Caldria un doble impuls: d'una banda, obtenir dades de sòls poc estudiats i, de l'altra, explotar les que ja existeixen; per a poder integrar tota aquesta informació en models que permetessin estendre l'estimació dels reservoris de carboni orgànic a tot el territori.

Les previsions de canvi climàtic a Catalunya indiquen que els nostres sòls experimentaran una pèrdua lenta de matèria orgànica per mineralització durant els propers decennis. Per a compensar-la, l'ús de la dosi adequada d'adobs orgànics de qualitat (per exemple, ben estabilitzats per compostatge) en sòls agrícoles, o d'esmenes orgàniques en la rehabilitació d'espais degradats, pot contribuir a mantenir el reservori de carboni orgànic al sòl.

A curt termini, el decrement de matèria orgànica no hipotecarà significativament la qualitat dels sòls, però cal prendre mesures de mitigació aviat si no volem que molts, ja pobres en matèria orgànica, es trobin per sota del llindar crític que n'amenaça el desenvolupament de les funcions.

Respecte a la biodiversitat edàfica i a les funcions que realitza, convindria disposar d'una xarxa de seguiment de grups d'organismes clau, com la que existeix a altres països europeus i que permet disposar d'indicadors de la qualitat biològica del sòl.

Per a evitar les emissions de N_2O i de NO i les pèrdues de la qualitat del sòl, cal aplicar únicament residus orgànics o ramaders de qualitat, i en la dosi i de la manera adequades. Les mesures adreçades a l'ús eficient del N, com ara la incorporació del purí al sòl mitjançant el llaurat, passades del cultivador o l'aplicació localitzada, són altament recomanables.

Respecte al biocarbó com a opció de mitigació dels efectes del canvi climàtic, caldria revisar els plans d'energia a Catalunya per a possibilitar la implantació de la piròlisi com una tecnologia de valorització de la biomassa residual que permetria aprofitaments molt interessants, com ara l'obtenció de determinats productes químics i biocombustibles, a més del biocarbó. Aquesta opció també facilitaria nous aprofitaments de la biomassa forestal, cosa que permetria donar més valor als treballs de gestió dels boscos a Catalunya, necessaris per a reduir el risc d'incendis. Ara bé, s'hauria de fer més recerca sobre els efectes de la incorporació al sòl en les nostres condicions climàtiques i una estimació de la capacitat de recepció de biocarbó dels sòls de Catalunya que establís un límit prudent per a evitar efectes potencials adversos. Això contribuiria al segrest de carboni, a més d'altres efectes beneficiosos per al sòl, sense esperar increments notables de la producció agrícola.

D'altra banda, l'augment de la temperatura permetrà desplaçar activitats agrícoles cap a zones de més altitud, que a Catalunya també són les que tenen més risc d'erosió del sòl, perquè estan situades en zones de més pendents. Per tant, caldrà una combinació de mesures de conreu de conservació i d'abancalaments elaborades amb criteris tècnics (com, per exemple, la construcció de bancals i terrasses calculats amb criteris hidrològics, el control de l'escolament, el maneig agronòmic adequat, la gestió forestal amb criteris protectors, com ara cremes controlades, les tallades selectives, el maneig del sotabosc, etc.). A més, atès que un efecte global de l'aridificació és l'increment del risc d'erosió, caldrà tenir-ho en compte d'una manera general en les pràctiques de maneig del sòl i reforçar les actuacions de conservació de sòls.

El maneig de regadius amb sistemes de reg més eficients (com ara el reg localitzat, el reg per aspersió o el reg d'alta freqüència) ha de preveure fraccions de rentatge de sals que mantinguin la salinitat en nivells tolerables per als cultius i que no afectin la qualitat del sòl. En un clima més àrid, aquestes fraccions de rentatge implicaran, en aquests casos, més dotacions de reg.

També cal limitar el segellat permanent de sòls de qualitat per la construcció d'habitatges i infraes-

structures, atès l'impacte en les emissions de GEH, i per fer-ho s'ha de tenir en compte la informació de sòls disponible. La possible nova llei de protecció del sòl d'ús agrari pot ser una eina eficient per a aquest objectiu.

Cal donar un tractament legislatiu i de planificació adequat al sòl segons els nostres recursos i objectius econòmics i ambientals, sense esperar les directrius de la UE, atès que el Govern de Catalunya en té competències. S'ha de fer d'una manera equilibrada amb el que es fa amb l'aire i l'aigua, i també quan es generi legislació ambiental, especialment amb relació al canvi climàtic, com és el cas del Projecte de llei del canvi climàtic. A més, cal que s'apliqui d'una manera eficient i coordinada amb les altres normatives.

És important i, per tant, necessari integrar edafòlegs (especialistes en l'estudi del sòl) en els equips professionals d'avaluació d'impactes ambientals i en els que desenvolupin i implementin les polítiques relacionades amb el sòl, el seu ús i el canvi climàtic.

Referències bibliogràfiques

- AEMA = AGÈNCIA EUROPEA DEL MEDI AMBIENT (2015). *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2015*. Copenhagen: AEMA.
- ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E. T.; ZRIBI, W. [et al.] (2015). «Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios». *Irrigation Science*, 33(1), p. 67-79.
- FANTAPPIÈ, M.; L'ABATE, G.; COSTANTINI, E. A. C. (2011). «The influence of climate change on the soil organic carbon content in Italy from 1961 to 2008». *Geomorphology*, 135(3), p. 343-352.
- GANGA, H.; XUE-YONG, Z.; YU-QIANG, L. [et al.] (2012). «Restoration of shrub communities elevates organic carbon in arid soils of NW China». *Soil Biology and Biochemistry*, 47, p. 123-132.
- GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, E. J.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL-BOJOLLO, R. [et al.] (2012). «Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture». *Soil and Tillage Research*, 122, p. 52-60.
- HAMDI, S.; MOYANO, F.; SALL, S. [et al.] (2013). «Synthesis analysis of the temperature sensitivity of soil respiration from laboratory studies in relation to incubation methods and soil conditions». *Soil Biology and Biochemistry*, 58, p. 115-126.
- HERRERO, J.; CASTAÑEDA, C. (2013). «Changes in soil salinity in the habitats of five halophytes after 20 years». *Catena*, 109, p. 58-71.
- JANZEN, H. H. (2015). «Beyond carbon sequestration: Soil as conduit of solar energy». *European Journal of Soil Science*, 66, p. 19-32.
- JEFFERY, S.; GARDI, C.; JONES, A. [et al.] (ed.) (2010). *European atlas of soil biodiversity*. Luxemburg: European Commission. Publications Office of the European Union.
- JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VELDE, M. VAN DER [et al.] (2011). «A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis». *Agriculture Ecosystems and Environment*, 144, p. 175-187.
- LEHMANN, J.; STEPHEN, J. (ed.) (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. 2a ed. Londres: Routledge.
- MAGRAMA = MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2015). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos: Informe sobre regadíos en España 2014*. Madrid: MAGRAMA. Secretaria General Técnica. Subdirección General de Estadística.
- ORTIZ, O.; OJEDA, G.; ESPELTA, J. M. [et al.] (2012). «Improving substrate fertility to enhance growth and reproductive ability of a *Pinus halepensis* Mill. afforestation in a restored limestone quarry». *New Forests*, 43, p. 365-381.
- OJEDA, G.; ORTIZ, O.; MEDINA, C. R. [et al.] (2015). «Carbon sequestration in a limestone quarry mine soil amended with sewage sludge». *Soil Use and Management*, 31, p. 270-278.
- PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; BARECHE, J. [et al.] (2014). «Soil carbon dioxide and methane fluxes as affected by tillage and N fertilization in dryland conditions». *Plant and Soil*, 381(1-2), p. 111-130.
- TROST, B.; PROCHNOW, A.; DRASTIG, K. [et al.] (2013). «Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions:

- A review». *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), p. 733-749.
- VRIES, F. T. DE; BARDGETT, R. D. (2015). *Terrestrial biodiversity climate change: Impacts report card technical paper: Climate change effects on soil biota in the UK*. Manchester: Universitat de Manchester.
- WALLANDER, S. (16 abril 2015). «California drought: Farms». A: *United States Department of Agriculture. Economic Research Service* [en línia], <<http://www.ers.usda.gov/topics/in-the-news/california-drought-farm-and-food-impacts/california-drought-farms.aspx>> [Consulta: 24 febrer 2016].
- WARDLE, D. A. (2013). «Ecology: Drivers of decoupling in drylands». *Nature*, 502, p. 628-629.
- YAGÜE-CARRASCO, M. R.; BOSCH-SERRA, À. D. (2013). «Slurry field management and ammonia emissions under Mediterranean conditions: Short communication». *Soil Use and Management*, 29, p. 397-400.

3a PART

Sistemes humans: impactes, vulnerabilitat, adaptació i mitigació



13 Sistemes agroalimentaris: agricultura, ramaderia i pesca

Autors

Maria Teresa Sebastià

Josefina Plaixats

Jaume Lloveras

Joan Girona

Nuno Caiola

Robert Savé

Col·laboradora

Rosa Llurba

Maria Teresa Sebastià és doctora en ciències biològiques per la Universitat de Barcelona i professora de la Universitat de Lleida (UdL). Coordina el grup de recerca Gestió i Anàlisi Multiescala de Biodiversitat i Serveis Ambientals als Sistemes Forestals i Agrícoles sota Canvi Global (GAMES) de la UdL i el Laboratori d'Ecologia Funcional i Canvi Global (ECOFUN) del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC). Investiga l'anàlisi de les interaccions entre la biodiversitat i els cicles del carboni i el nitrogen en condicions de canvi climàtic a pastures, boscos i conreus.

Josefina Plaixats és doctora en biologia, professora del Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i membre del Grup de Recerca en Remugants (G2R). Centra la recerca en la gestió i la restauració d'ecosistemes pastorals i agrosilvopastorals, i en la capacitat de segrest i d'acumulació de carboni. Ha dirigit diversos projectes de recerca i convenis i ha participat en projectes europeus. És coordinadora de la Secció de Ramaderia de la Institució Catalana d'Estudis Agraris (ICEA) i membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC).

Jaume Lloveras és enginyer agrònom, doctor en producció i fisiologia de conreus i catedràtic de producció vegetal a la UdL. Ha estat investigador de l'Institut Nacional d'Investigacions Agràries a Abe-

gondo (la Corunya) i de l'Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA) a Reus. Ha treballat i treballa en diversos aspectes de la producció de farratges, cereals d'estiu i d'hivern, lleguminoses, cultius alternatius, rotacions de conreus i fruiters de fruita seca.

Joan Girona és doctor enginyer agrònom, investigador de l'IRTA i professor adjunt de la UdL. Ha centrat la recerca en l'estudi i l'optimització de l'ús eficient de l'aigua en cultius de regadiu. És coordinador del grup de treball IRTA-UC Davis sobre el reg eficient en espècies llenyoses i membre del REGMED (2008-2010), del grup SCAR de la Unió Europea, del Fòrum de Copenhaguen sobre l'orientació del programa H2020 i del grup d'experts en aigua del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS).

Nuno Caiola és llicenciat en biologia marina per la Universitat de Lisboa i doctor en biologia per la Universitat de Barcelona. Actualment és investigador de l'IRTA. Una de les línies principals de recerca que dirigeix és la gestió sostenible de la pesca en aigües costaneres i els efectes del canvi climàtic en aquesta activitat. Ha liderat diversos projectes de recerca nacionals i internacionals, ha dirigit cinc tesis doctorals i és autor de trenta-dues publicacions científiques en els últims cinc anys.

Robert Savé és doctor en biologia i investigador en l'àrea de l'ecofisiologia, principalment en l'àmbit agropecuari. És coordinador científic del programa Vitivinicultura de l'IRTA, assessor de l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària, membre del GECCC, representant espanyol en el sector agroforestal de l'Aliança Global contra el Canvi Climàtic (OECC-MAGRAMA) i membre de l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic, del grup de recerca de qualitat Relacions Hídriques del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació, i del grup d'experts en aigua del CADS. És professor d'ecologia a

la UAB i a la Facultat Regional Multidisciplinària de la Universitat Autònoma de Nicaragua.

Rosa Llurba és enginyera agrònoma i especialista en l'estudi dels béns i els serveis associats als pol·cultius dins de projectes de recerca del CTFC i de la UdL. En el marc d'aquests projectes, ha posat en marxa un camp experimental agrícola per a dur a terme experiments sobre diversitat-funció en agroecosistemes. És coautora del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* i empresària agrícola a la plana de Lleida.

Sumari

Síntesi	318
13.1. Introducció	319
13.2. L'agricultura	319
13.2.1. Efectes del canvi climàtic en l'agricultura a Catalunya.....	320
13.2.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de l'agricultura a Catalunya	321
13.2.2.1. L'eficiència en l'ús de nitrogen	321
13.2.2.2. L'agricultura ecològica.....	322
13.2.2.3. La gestió de residus dels cultius	322
13.2.2.4. L'agricultura de conservació	322
13.3. La ramaderia.....	323
13.3.1. Efectes del canvi climàtic en la ramaderia a Catalunya	323
13.3.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la ramaderia a Catalunya.....	323
13.3.2.1. Estratègies d'adaptació de la ramaderia.....	323
13.3.2.2. Estratègies de mitigació de la ramaderia	324
13.4. La pesca costanera.....	325
13.4.1. Efectes del canvi climàtic en la pesca costanera a Catalunya.....	326
13.4.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la pesca costanera a Catalunya	326
13.5. La indústria agroalimentària.....	327
13.5.1. Efectes del canvi climàtic en la indústria agroalimentària a Catalunya ..	328
13.5.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la indústria agroalimentària a Catalunya.....	328
13.6. L'aigua.....	328
13.6.1. La importància de l'aigua	328
13.6.2. Efectes del canvi climàtic	329
13.6.3. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic	330
13.7. Conclusions	332
13.8. Recomanacions	333
Referències bibliogràfiques	334

Síntesi

El sector agropecuari català és plenament conscient del canvi climàtic i del canvi global, i ja fa temps que ha iniciat polítiques i actuacions de mitigació i d'adaptació a aquests canvis. Parteix de l'adaptació de l'agronomia basada en el coneixement científic per a adequar els mètodes i els sistemes de producció a les noves condicions ambientals i assegurar el manteniment quantitatiu i qualitatiu de la producció, tenint sempre en compte el context socioeconòmic, ambiental i cultural en què es projecten.

En els darrers temps s'observa un augment de la consciència dels productors i dels consumidors de productes agroalimentaris respecte a l'existència i als efectes del canvi climàtic. Això explica la intensificació tecnificada i l'agricultura de precisió que, amb campanyes de consum responsable, han tingut un gran èxit (per mitjà dels productes de kilòmetre zero o de proximitat).

L'agricultura té dos reptes importants: l'ús de l'aigua i la gestió del nitrogen. L'agricultura de regadiu ofereix uns beneficis més elevats que la de secà en termes productius i econòmics. En aquest sentit, la millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua (és a dir, l'increment del producte obtingut per cada gota d'aigua utilitzada) és clau per a la sostenibilitat respecte al canvi climàtic. L'agricultura de secà, que representa el percentatge més important del sòl agrícola català, presenta més risc i, per a mantenir les funcions productives, haurà d'escollir les espècies i les varietats més resistents a la sequera i fer més ús de les estratègies de gestió, com ara la

rotació de conreus, el guaret o la pràctica d'altres sistemes de cultiu (com, per exemple, la conservació, la producció ecològica, la producció integrada i l'agricultura de precisió).

En l'agricultura, la gestió dels adobs nitrogenats és un factor bàsic per a la producció vegetal. Cal, però, fer-ne un ús més eficient i reduir les emissions de compostos de nitrogen i l'efecte en l'eutrofització de les aigües superficials i subterrànies. En aquest sentit, cal afinar la relació adob-reg-sòl i el maneig dels nutrients al camp.

Pel que fa a la ramaderia, la intensitat i la quantitat d'emissions varien segons les espècies i els sistemes de producció. Així, doncs, és essencial millorar les pràctiques de gestió del bestiar i de les dejeccions per a augmentar l'eficiència de producció i reduir les emissions. La ramaderia de precisió i l'aplicació de noves tecnologies com ara la nutrigènica poden contribuir al manteniment de la producció i, alhora, a la mitigació del canvi climàtic.

Atesa la importància global, els ecosistemes marins costaners són un punt important de preocupació amb relació als impactes del canvi climàtic. A causa de la importància econòmica i social, la pesca costanera està fortament arrelada a Catalunya. La gestió d'aquesta activitat s'ha de fer amb criteris de sostenibilitat i ha de tenir en compte els efectes del canvi climàtic (com ara l'escalfament global i l'acidificació del medi marí).

Paraules clau

agricultura i ramaderia de precisió, eficiència productiva, nitrogen, sòls, aigua, pesca

13.1. Introducció

El sistema agroalimentari català, partint d'una visió integral (sector primari, secundari i terciari), a més de ser el sector industrial principal (amb el 20,8 % del PIB industrial català), aporta el 3,8 % del PIB del país (el sector agropecuari representa el 0,92 %) i actua com un actor anticíclic molt útil en etapes de crisi econòmica (Reguant *et al.*, 2013). És, però, un sector vulnerable al canvi climàtic i, en un sentit més ampli, al canvi global, motiu pel qual tant la Generalitat de Catalunya com un gran nombre d'universitats i centres de recerca desenvolupen, des de les responsabilitats respectives, iniciatives per a contribuir a la mitigació del canvi climàtic i a l'adaptació del sector agroalimentari als efectes d'aquest fenomen.

La vulnerabilitat d'aquest sector respecte al canvi climàtic implica l'adopció d'estratègies productives i de distribució d'aliments respectuoses amb el medi ambient, com ara l'agricultura ecològica, l'agricultura de precisió o qualsevol tipus d'agricultura que redueixi al màxim els efectes d'aquesta activitat en el medi, i d'un consum respectuós (per mitjà de productes de proximitat o de kilòmetre zero). Cal esmentar, com a efecte positiu segons aquesta visió, la conscienciació dels implicats en aquesta cadena (els productors, els tècnics i els consumidors) sobre la necessitat d'avançar en aquest sentit.

Tot i els efectes positius de l'agricultura de regadiu (com ara la producció i la rendibilitat), cal mantenir l'activitat de l'agricultura de secà, que, a més de proporcionar una tipologia de productes diferents, representa una activitat indispensable per a la conservació del territori i la biodiversitat.

Pel que fa a la gestió dels adobs nitrogenats, contribuents importants en les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH), cal millorar-ne l'eficiència (bàsicament per mitjà d'aspectes relacionats amb el moment, la quantitat i la manera d'aplicar-los, segons la disponibilitat hídrica del medi). En aquest tema cal incloure la gestió dels purins i la millora de les tècniques de conreu que contribueixen a la conservació i a la fertilitat del sòl.

El sector agropecuari i la indústria associada són sotmesos a moltes pressions que n'impulsen i al-

hora en delimiten la funcionalitat, a les quals cal afegir el canvi climàtic i el canvi global (Smith *et al.*, 2014). D'una banda, aquests canvis modifiquen el mercat (les compres, les vendes, les modificacions dels hàbits de consum, els moviments especulatiu, entre d'altres) i, en paral·lel, les noves condicions ambientals poden modificar les condicions i les pràctiques de conreu i recol·lecció, i comportar una variació dels cultius, que generaria noves necessitats a la indústria (pel que fa a la maquinària, l'ús de l'aigua, la climatització, etcètera).

Aquests canvis poden generar una despesa energètica més gran per al sector, que necessitarà incrementar l'eficiència dels processos de producció per a continuar mantenint una bona posició al mercat i, sobretot, per a contribuir a la reducció de l'impacte ambiental d'aquesta activitat (en termes, per exemple, de petjada hídrica i de carboni).

Atesa la importància global, els ecosistemes marins costaners són un punt de preocupació amb relació als impactes del canvi climàtic. A Catalunya, la pesca costanera té una rellevància econòmica i social i s'ha de practicar amb criteris de sostenibilitat i tenint en compte els efectes del canvi climàtic (com ara l'escalfament global i l'acidificació del medi marí).

Com en la major part dels països mediterranis, a Catalunya el consum de peix ha estat i continua sent elevat (aproximadament de 28 kg per persona i any, segons dades del 2013), de manera que és la tercera comunitat autònoma en termes de pesca extractiva i aporta el 48 % de les captures de peix dels Països Catalans (i el 31 % amb relació a la Mediterrània espanyola). La recaptació econòmica d'aquesta activitat va ser d'uns 110 M€ el 2013.

En aquest capítol s'analitza què ha canviat en els anys transcorreguts des de la publicació del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC) i s'aporten coneixements actualitzats sobre alguns aspectes rellevants en àmbits com ara la producció agrària, la ramaderia, l'ús de l'aigua, la fertilització nitrogenada i la gestió dels recursos pesquers.

13.2. L'agricultura

A Catalunya, l'agricultura i la ramaderia tenen un valor econòmic, estratègic i territorial molt elevat,

ja que ocupen més d'un terç del territori i prop del 90 % si es considera també la part forestal (Gràcia *et al.*, 2010), proporcionen una gran quantitat de béns i serveis relacionats amb el paisatge i la producció d'aliments (més de 7 milions de tones de productes agrícoles frescos i/o secs i més de 3,7 milions d'hectolitres de vi i oli l'any 2013; Idescat, 2014), i sostenen una indústria agroalimentària que representa el primer clúster agroalimentari d'Europa.

Existeix una preocupació real sobre l'alimentació d'una població mundial creixent, amb necessitats alimentàries creixents (FAO, 2009). Com afecta, aquest problema, a Catalunya? Respondre a aquesta pregunta és difícil, ja que no solament depèn dels factors de producció, sinó també de nombrosos condicionants socioeconòmics. No obstant això, la diversitat de condicions agroclimàtiques i la capacitat d'adaptació i d'innovació de la societat catalana proporciona certes garanties de la continuïtat de la producció (i de la importació d'aliments) per a alimentar la població en les condicions de canvi climàtic esperades.

En aquest context, mantenir el 40 % d'autosuficiència alimentària (el percentatge de la producció primària respecte a la demanda d'aliments a Catalunya) pot ser un repte. Si la població augmenta i la disponibilitat de recursos productius bàsics (com ara el clima, el sòl i l'aigua) són afectats negativament pel canvi climàtic, mantenir aquest índex no serà fàcil. D'altra banda —i a escala global—, seria desitjable millorar els valors d'autosuficiència alimentària en un context de canvi en el qual l'accés als aliments (un aspecte primordial de la seguretat alimentària) depèn, en gran part, d'incidències climàtiques, geopolítiques i comercials.

Més enllà de la importància pel que fa a la producció, els cultius també tenen una funció ecosistèmica rellevant que es manifesta, per exemple, en la fixació del CO₂ atmosfèric durant la fase de creixement de les plantes (es tracta d'un emmagatzematge temporal que en el cas dels conreus llenyosos se situa en valors mitjans de vint-i-cinc a trenta-cinc anys i que en el cas de les vinyes i les oliveres arriba a valors de seixanta a cent anys; és a dir, unes xifres temporals iguals o superiors als boscos de pinàcies del país). El pa-

nís, per exemple, fixa temporalment i de mitjana uns 7.000 kg C ha⁻¹ any⁻¹, que corresponen a uns 86.000 kg CO₂ ha⁻¹ any⁻¹ (Biau *et al.*, 2013). En el futur, aquesta funció pot esdevenir una estratègia important de mitigació a la Mediterrània, on històricament l'equilibri entre el bosc i el sector agropecuari s'ha entès com un fet adinàmic generador de cultura i de riquesa. Aquest element sembla prendre més força després de la valoració positiva que es deriva de la COP21, celebrada a París el desembre del 2015.

13.2.1. Efectes del canvi climàtic en l'agricultura a Catalunya

L'agricultura desenvolupa un paper evident com a receptora però també com a promotora del canvi climàtic, ja que una gran part de l'activitat agrícola és condicionada pel medi i els seus recursos i, malgrat la millora tecnològica, continua sent molt sensible als canvis en el clima (especialment, a la disminució de la precipitació i a l'augment de la temperatura). A més, tot i la feina feta en aquest sentit, cal aconseguir una gestió més eficient dels recursos (l'aigua, el sòl, els nutrients) i una reducció dels efectes contaminants que s'hi poden associar (els GEH i la contaminació difusa). D'altra banda, la millora productiva per unitat d'entrada utilitzada és l'altre repte que li caldrà afrontar. Al SICCC s'afirmava que, en condicions de canvi climàtic, calia desenvolupar una agronomia nova, holística, proactiva i radical pel que fa al compromís de lluita contra el canvi climàtic que permetés assegurar les necessitats bàsiques de les generacions actuals i futures en un món que canvia molt de pressa. Aquesta declaració també és vàlida per a aquest INFORME.

El sector agroalimentari català està força tecnificat, la qual cosa li permet ser la primera indústria del país. A més, els darrers anys s'ha produït una expansió de noves tecnologies basades en ciència bàsica general i aplicades al llarg de tota la cadena agroalimentària, com ara l'agricultura de precisió o la millora genètica. Per exemple, s'ha publicat l'efecte positiu de la diversitat sembrada en molts aspectes de la producció (figura 13.1) o en la mitigació del canvi climàtic. Encara manca, però, una aposta més decidida per la introducció de tècniques basades en l'agroecologia i l'estalvi d'aigua.

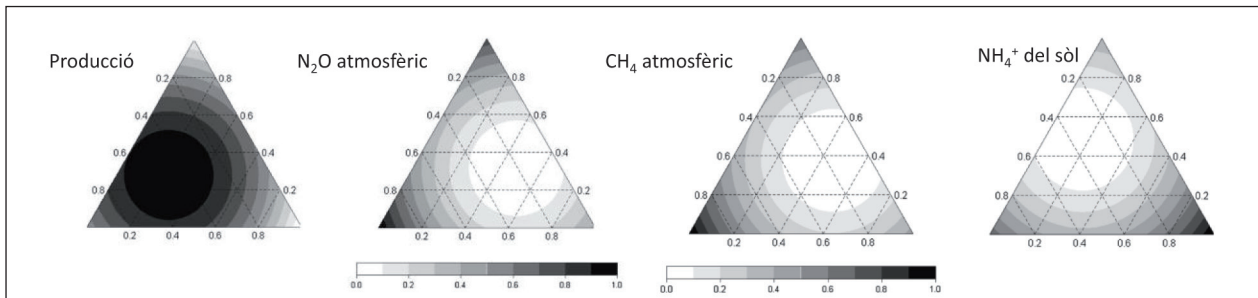


FIGURA 13.1. Efecte positiu de la diversitat sembrada en un ventall de funcions d'ecosistemes farratgers relacionades amb la producció i la millora ambiental. Els vèrtexs dels triangles representen els tres monocultius sembrats en un camp de Castellnou d'Ossó, mentre que el punt central (centroide) representa la diversitat sembrada màxima. S'observa que cap a aquesta zona es maximitza el conjunt de funcions, amb un augment de la producció i una disminució dels gasos amb efecte d'hivernacle i de la pèrdua de nutrients.

Font: Modificat de Ribas *et al.*, 2015.

Amb relació al SICCC, publicat l'any 2010, aquest INFORME aporta com a novetat les quantificacions de les emissions de diversos cultius i sistemes de producció, així com les innovacions produïdes en l'àmbit tecnològic i en les mesures de mitigació. També incorpora una valoració dels efectes beneficiosos de l'agricultura de regadiu en comparació dels de l'agricultura de secà. Per exemple, cal valorar que als nous regadius de Lleida s'ha produït un canvi en el tipus de conreus que ha permès passar de 1.500-3.000 kg ha⁻¹ any⁻¹ de gra (bàsicament, ordi) a 15.000 kg ha⁻¹ any⁻¹ de blat de moro, si bé amb un consum d'aigua de 6.200 a 9.400 m³/ha, segons el sistema de reg utilitzat (Rufat *et al.*, 2006). No obstant això, en el futur caldrà veure si hi ha prou aigua per a totes les terres de regadiu (Lloveras *et al.*, 2014).

Finalment, i com ja es va apuntar al SICCC, l'increment de les temperatures pot allargar els cicles de creixement d'alguns cultius i incrementar-ne els rendiments en alguns indrets, tot i que els pot reduir en altres. Cal destacar, però, que l'increment de la temperatura pot generar problemes greus de floració, maduració, cops de calor i qualitat organolèptica (Funes *et al.*, 2015).

13.2.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de l'agricultura a Catalunya

En el conjunt de l'agricultura mundial, els darrers anys s'ha fet molta recerca sobre l'increment de l'eficàcia dels adobs nitrogenats i de l'ús dels inhibidors de la nitrificació per a reduir les emissions de GEH (Abalos *et al.*, 2014). També s'ha intensificat la cerca de genotips de cultius més adap-

tats al dèficit hídric, la qual cosa ha originat, per exemple, varietats comercials de blat de moro més adaptades a la sequera que permeten mantenir rendiments de gra acceptables.

Cal fer referència, també, a la recerca sobre adobs nitrogenats amb inhibidors de la nitrificació per a reduir el volum d'emissions de GEH i sobre la capacitat d'embornal del sector agrari, detallada en el capítol 3 d'aquest INFORME.

13.2.2.1. L'eficiència en l'ús de nitrogen

En la producció agrària, la gestió dels adobs nitrogenats és un factor bàsic de la producció i, si el sòl no el proveeix en la quantitat suficient, cal aplicar adobs nitrogenats (amb una eficiència sovint força baixa)¹ o utilitzar el potencial de les lleguminoses. En qualsevol cas, cal tenir present que l'aplicació d'adobs nitrogenats també comporta un augment de les emissions de GEH.

Alguns d'aquests aspectes s'han estudiat en els darrers anys a les nostres comarques i amb els nostres cultius. Al mateix temps, l'ús dels fems i els purins com a adob també produeix GEH i a Catalunya, almenys a les comarques de l'interior, és una pràctica habitual quasi insubstituïble (Teira, 2008), tot i els problemes ambientals que genera (DARP, 2015b).

Hi ha poques publicacions sobre les quantitats d'adobs nitrogenats utilitzats habitualment a Catalu-

1. De 56 a 182 kg de gra per kg de nitrogen aplicat en panís en regadiu, insignificant en l'alfals o recuperacions del 28 al 46,5 % del nitrogen aplicat en secà.

nya, tot i que sovint es detecta un excés d'aplicació de nitrogen que, a més d'un risc de contaminació de les aigües per nitrats, implica una contribució a les emissions de N_2O (Maris *et al.*, 2015). Tot i que la contaminació de les aigües subterrànies per nitrats és un fenomen conegut que preocupa les institucions i la societat, cal destacar que en general hi ha una consciència molt baixa sobre el fet que l'ús ineficient o inadequat dels adobs nitrogenats comporta una forta producció de N_2O .

Moltes publicacions de recerca sobre l'ús del nitrogen van dirigides a millorar-ne l'eficiència i, de retruc, a reduir les emissions gasoses. A escala mundial i espanyola hi ha hagut força recerca per a incrementar l'eficiència dels adobs nitrogenats, reduir les pèrdues de nitrogen i emprar inhibidors de la nitrificació i de la ureasa, i alguns països veuen aquesta metodologia com un camí vers la reducció dels GEH (Abalos *et al.*, 2014).

Segons aquestes consideracions, caldria:

- Incrementar el coneixement, l'ús i la gestió dels adobs nitrogenats a Catalunya, ja que la informació disponible no és prou acurada per a avaluar-ne les conseqüències ambientals a escala regional.
- Incrementar els sistemes participatius (recerca, formació, administrador i usuaris) per transferir coneixement sobre la gestió acurada dels elements nutricionals a l'agricultura.
- Desenvolupar models de gestió que ajudin el productor a fer-ne un ús eficient i sostenible ambientalment.

13.2.2.2. L'agricultura ecològica

Quant a les mesures possibles per a la reducció de l'emissió de GEH, és ben conegut que l'agricultura ecològica és un tipus d'agricultura amb un respecte elevat pel medi ambient bàsicament perquè no fa servir ni fertilitzants nitrogenats ni altres productes de síntesi. Tot i que aquest tipus d'agricultura redueix les emissions de GEH per unitat de superfície, cal tenir en compte que avui dia aquest no és l'efecte per unitat de producte (Tuomisto *et al.*, 2012). Encara que el principi sempre és que el potencial per a emetre N_2O augmenta amb la disponibilitat de nitrogen al sòl i amb la solubilitat dels adobs nitrogenats, cal continuar millorant-ne l'aplicació pràctica.

Aquest tipus d'agricultura sembla aportar, en les nostres condicions, un benefici econòmic més gran per al productor en alguns conreus (Santiveri *et al.*, 2014), encara que normalment té rendiments més baixos que els de l'agricultura convencional i cal plantejar si amb el seu ritme de producció es podria satisfer la demanda alimentària de la població mundial.

A escala europea, el sector ecològic ocupa una superfície aproximada de 8 milions d'hectàrees, és a dir, el 4,3 % de la UE-27, però amb una gran diversitat entre països i conreus. La demanda d'aquest tipus d'aliments va augmentant en els mercats europeus, però l'any 2007 el sector orgànic no representava més del 2 % de les despeses totals d'aliments de la UE-15 (EC, 2010).

13.2.2.3. La gestió de residus dels cultius

Una estratègia de mitigació dels efectes dels GEH és el segrest de carboni dels cultius i del sòl. Una pràctica habitual en el cereal d'hivern i, sovint, en el cultiu del blat de moro és l'exportació o la venda de la palla o dels canyots per a obtenir uns ingressos addicionals o reduir les despeses de la gestió del rostoll.

Aquest rostoll és molt important no solament pel que implica en el segrest de carboni, sinó també perquè contribueix a incrementar la matèria orgànica i la qualitat del sòl (els microorganismes, la microfauna, etc.). Així, Biau *et al.* (2013) van observar que en el cultiu del blat de moro l'exportació del rostoll reduïa en tres anys el contingut de carboni orgànic del sòl, que passava d'1,06 a 0,82 g C m⁻².

La retirada del rostoll també afecta les emissions de N_2O . En el cas del blat de moro i en les nostres condicions, es va passar d'1,56 kg ha⁻¹ a 1,73 kg ha⁻¹ en els tractaments en què el rostoll de panís es va exportar en comparació dels tractaments en què el rostoll de panís es va incorporar al sòl (S. Maris, com. pers.).

13.2.2.4. L'agricultura de conservació

De les possibles tècniques de conreu encaminades al segrest del carboni destaca l'agricultura de conservació, que pot contribuir a incrementar el contingut de matèria orgànica del sòl i, en conseqüència, al segrest de carboni. Álvaro *et al.* (2014),

per exemple, van trobar diferències significatives en el contingut de carboni orgànic en la capa superior del sòl (5 cm) entre el conreu mínim i les sèmbrs tradicionals de 5,7 Mg C ha⁻¹ a favor del primer. No obstant això, si es consideraven els primers 30 cm de sòl aquestes diferències eren més petites.

En aquesta línia, cal considerar la biota del sòl, ja que és clau en la modulació de les respostes vegetals respecte de l'aigua i els nutrients del sòl. Aquesta fertilitat biològica és un altre dels punts que la pràctica agronòmica pot afavorir (Zuccarini *et al.*, 2015).

13.3. La ramaderia

La producció de carn a Catalunya és d'uns 2 milions de tones l'any, de les quals el 76 % és de porc; el 16,7 %, d'aviram, i el 6 %, de boví (que representen, respectivament, el 44 %, el 24,7 % i el 20,5 % de la producció de l'Estat espanyol). Cal assenyalar que el 63 % de la carn de porc produïda a Catalunya s'exporta, de manera que és el sector industrial més important pel que fa a les vendes, amb el 22 % del total (Ministerio de Economía y Competitividad, 2014).

A continuació s'analitzen alguns dels efectes del canvi climàtic en aquest sector i les estratègies de mitigació de les emissions de GEH i d'adaptació als efectes del canvi climàtic.

13.3.1. Efectes del canvi climàtic en la ramaderia a Catalunya

La previsió de l'increment anual de la temperatura de 0,9 °C i del descens de la precipitació de l'1,5 % apuntats en aquest mateix INFORME poden afectar la productivitat del bestiar d'una manera diferent segons l'espècie animal. Fins i tot els remugants amb un interval de confort tèrmic ampli, possiblement veuran alterades la fisiologia i la capacitat d'ingestió en condicions extensives i/o semiintensives.

En condicions d'onades de calor, com s'ha observat en les cabres de llet, la producció disminuirà i, a més, es produiran canvis en la composició química d'aquest producte, la qual cosa podrà afectar els processos de la indústria làctia. Pel que fa als efectes indirectes, consistiran en canvis en la disponi-

bilitat de farratge, pastures i matèries primeres per a la indústria del pinso i en problemes en l'àmbit de la sanitat animal.

Els animals monogàstrics (porcs i aus), amb un interval de confort tèrmic més reduït, poden ser molt afectats per l'augment de les temperatures. En la pràctica, però, es pot considerar que moltes instal·lacions productives del nostre país disposen de capacitat per a atenuar els efectes de la temperatura, d'acord amb les condicions de benestar animal dictades per la Unió Europea [Reglament (CE) núm. 1/2005].

13.3.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la ramaderia a Catalunya

13.3.2.1. Estratègies d'adaptació de la ramaderia

Els remugants probablement podran tolerar l'augment de la temperatura apuntat en aquest INFORME, tot i que la resposta dels animals és complexa, ja que és el resultat de la interacció entre la genètica, la fisiologia, l'aclimatació i l'habitació. Les estratègies d'adaptació en l'àmbit de la ramaderia haurien d'incloure, entre d'altres:

- La introducció en els animals de cria de caràcters genètics de tolerància a la temperatura, de capacitat de supervivència i de resistència a les malalties.
- El control dels sistemes de pasturatge per a reduir la càrrega ramadera i augmentar les zones d'ombra amb arbrat.
- La formulació de dietes complementàries més digestibles, l'establiment de programes d'alimentació adients a la productivitat, la genètica i el sexe dels animals, i l'alimentació per fases.

Pel que fa als animals monogàstrics en condicions intensives, amb un interval de confort tèrmic més reduït, l'adaptació hauria d'incloure mesures com ara:

- La tecnificació de les instal·lacions.
- La millora de les races amb caràcters de tolerància a la temperatura i de resistència a les malalties.
- La formulació de noves dietes basades en l'energia neta, amb nivells baixos de proteïna i suplementos d'aminoàcids digestibles per a disminuir l'excreció de nitrogen.

13.3.2.2. Estratègies de mitigació de la ramaderia

El sector ramader és un dels principals emissors de GEH, ja que és el responsable del 14,5 % de les emissions totals a escala global (amb el 39 % d'origen entèric, el 45 % fruit de la producció i el processament de pinsos, el 10 % procedent de la descomposició dels fems i el 6 % produït pel transport d'animals i l'elaboració dels productes). Es preveu que aquesta contribució augmenti a causa de la demanda mundial creixent de productes d'origen animal (FAO, 2013). Diversos agents ja han advertit, en aquest sentit, la importància de disminuir el consum de carn als països desenvolupats (Bailey *et al.*, 2014).

A Catalunya, el total de les emissions del sector agroramader és de 4,1 Mt CO₂ equiv., de les quals un 15,8 % són degudes a la fermentació entèrica i un 47,5 %, a la gestió dels fems (1,9 Mt CO₂ equiv.; OCCC, 2014). La taula 13.1 mostra que els remugants presenten una intensitat d'emissió de gasos molt més elevada que no pas els animals monogàstrics. El fet que a Catalunya la producció més gran de carn correspongui a porcs i aus no convidada, però, a la tranquil·litat, atès que ha augmentat considerablement els darrers anys i es preveu que ho continuï fent. El consum de carn a les llars catalanes és de 57,7 kg/(hab. any), és a dir, de 158 g/(hab. dia), i es preveu que arribi a 179 g/dia. La més consumida és la de pollastre (el 27,0 %), seguida de la de porc (el 21,2 %) i la de vedella (el 11,6 %).

Per a contribuir a la mitigació, és indispensable augmentar l'eficiència de la producció ramadera, tant pel que fa a la producció de llet com pel que fa a la producció de carn. L'estratègia per a fer-ho hauria d'incloure, entre d'altres, les accions següents:

- La millora en la selecció de la genètica animal per a la producció. Per exemple, una vaca que produeix 8.000 litres de llet l'any emet menys GEH (17,4 g de metà/kg de llet) que dues que en produeixen 4.000 cadascuna (30,8 g de metà/kg de llet) (FAO, 2013).
- L'augment de la fertilitat dels animals per a reduir el ritme de reposició.
- L'augment de l'eficiència en l'ús dels nutrients per a equilibrar d'una manera rigorosa els requeriments dels animals amb el subministrament dels nutrients de la dieta. És precisament en l'alimentació del bestiar que hi ha més marge per a actuar en la petjada de carboni.
- L'aplicació dels avenços en el camp de la nutrigenòmica i la nutrigenètica per a comprendre la interacció nutrient-gen i els efectes en els paràmetres d'eficiència productiva i de la salut dels animals (Ghormade *et al.*, 2011). L'ús de dietes específiques podrà millorar la qualitat de la carn i la llet i disminuir les alteracions metabòliques en situacions d'estrès.
- L'ús d'additius (com ara inhibidors, acceptors d'electrons, ionòfors, compostos vegetals bioactius, enzims, lípids dietètics i agents microbians) per a reduir l'emissió de metà, tot i que les interaccions són complexes (FAO, 2013).

TAULA 13.1. Contribució de l'activitat ramadera a l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle

Producció ramadera	Percentatge	Espècie animal	Percentatge	Intensitat d'emissió (kg CO ₂ equiv./kg proteïna)
Monogàstrics	19,0	Carn de porc	9,5	50
		Carn de pollastre	5,7	40
		Ous	2,8	30
		Altres aus	1,0	—
Remugants	81,0	Carn de boví	35,3	300
		Llet i productes de boví	30,1	80
		Carn i llet de búfal	8,8	—
		Carn i llet de petits remugants	6,7	190/140

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de FAO, 2013.

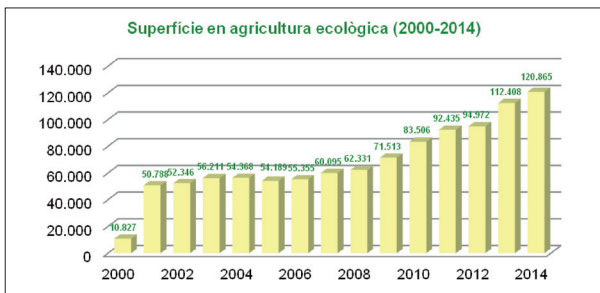


FIGURA 13.2. Evolució de la superfície d'agricultura ecològica a Catalunya.

Font: CCPAE, 2015.

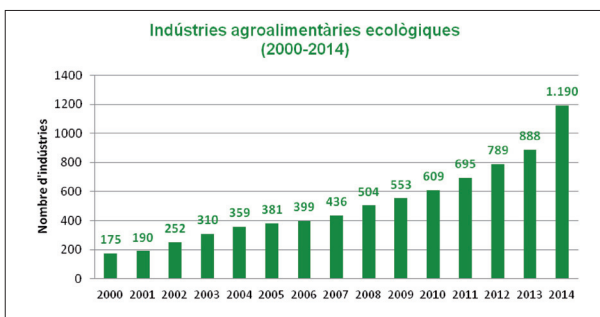


FIGURA 13.4. Evolució del nombre d'indústries agroalimentàries ecològiques a Catalunya.

Font: CCPAE, 2015.

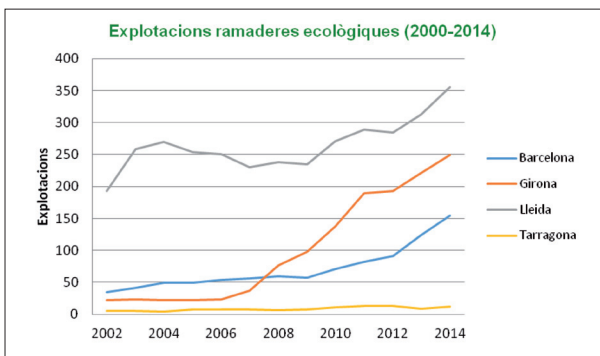


FIGURA 13.3. Evolució del nombre d'explotacions ramaderes ecològiques a Catalunya.

Font: CCPAE, 2015.

- El manteniment de la producció animal en condicions intensives sostenibles (en el cas dels porcs, les aus i la producció lletera) aplicant la ramaderia de precisió, és a dir, la gestió de la producció ramadera utilitzant els principis i la tecnologia de l'enginyeria de processos. Consisteix en la detecció de les necessitats dels animals mitjançant un monitoratge continuat, utilitzant diferents tecnologies (SIG) per a augmentar la salut i el benestar animal, millorar

el control de l'impacte ambiental i augmentar l'eficiència de la producció (JRC *et al.*, 2014). Tot i que Catalunya disposa de poques explotacions intel·ligents, és pionera en el disseny d'equips robotitzats portat a terme pel Grup de Recerca en Agrícola i Agricultura de Precisió (GRAP) i, des de l'any 2013, pel Projecte BLANCA-Ponderosa Holstein de vaques de llet (IRTA).

- L'augment de la producció ecològica (figura 13.2, figura 13.3 i figura 13.4). Els rumugants i els herbívors en pasturatge poden representar un embornal del 3 % ± 1,8 % de les emissions de GEH a la Unió Europea, que aproximadament corresponen al 0,6 % per a Catalunya. La ramaderia ecològica, a Catalunya, representa el 6,97 %, i la més important és la de carn de vedella (el 53 %), seguida de la d'oví (el 14 %) i de la de cabrum (el 11 %). En els darrers deu anys el nombre d'explotacions ha passat de 345 a 771.
- L'optimització de les pràctiques de gestió dels residus ramaders, de manera que s'afavoreixi la recuperació i el reciclatge de nutrients, és a dir, la utilització com a fertilitzants.
- L'aprofitament de la conversió de la matèria orgànica a gas metà mitjançant el procés de digestió anaeròbica metànica, amb la qual es pot aconseguir una reducció de 118 kg CO₂ equiv./m³ de purí tractat (Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012). L'aplicació dels purins al sòl amb eines específiques també contribueix a la reducció d'emissions alhora que s'eviten pèrdues de nitrogen.
- L'augment de l'eficàcia en l'ús de l'energia en les cadenes de processament i de subministrament d'aliments carnis.

13.4. La pesca costanera

El consum de peix a Catalunya ha estat i és elevat (aproximadament, de 30 kg per persona i any; DARP, 2014), com a la major part dels països mediterranis. Catalunya és la tercera comunitat autònoma pel que fa a la producció de pesca extractiva i representa el 48 % de les captures dels Països Catalans i el 31 % de les de la Mediterrània espanyola. La recaptació econòmica d'aquesta activitat va ser de 102 M€ l'any 2015 (DARP, 2015a). Així, doncs, no és estrany que la pesca extractiva sigui una activitat important i molt arrelada tant

socialment com culturalment. Per tant, la gestió d'aquesta activitat s'ha de prendre seriosament i s'ha de fer amb criteris de sostenibilitat.

13.4.1. Efectes del canvi climàtic en la pesca costanera a Catalunya

Com a país occidental del primer món, Catalunya fa cara als mateixos problemes globals de gestió pesquera: la sobrepesca i la destrucció de l'hàbitat. A aquests factors cal afegir el canvi climàtic, el qual, segons dades del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC), podrà provocar un decrement de les captures de fins al 20 % en el període 2051-2060 (IPCC, 2014).

Aquesta disminució només s'atribueix a l'increment de la temperatura, que s'estima que serà d'uns 3 o 4 °C a final de segle respecte del període 1986-2005. La temperatura de l'aigua afecta diversos trets biològics de les espècies marines, incloent-hi la reproducció, el creixement i la condició física. No obstant això, no solament es tracta de límits fisiològics, ja que en condicions subòptimes les espècies creixen menys i la fecunditat disminueix.

Òbviament, això no és igual en totes les espècies, perquè depèn de la capacitat de dispersió. Per exemple, els organismes sèssils, com ara els mol·luscs bivalves, tenen una capacitat reduïda d'adaptació a les noves condicions d'augment de la temperatura, de manera que la tendència és la disminució considerable dels estocs. Les espècies que tenen una capacitat de dispersió més gran, en canvi, poden canviar l'àrea de distribució i cercar zones d'aigües més fredes (vegeu el capítol 11 d'aquest mateix INFORME) i més allunyades de la costa (Lloret *et al.*, 2015).

En casos com aquests, tot i que els estocs no disminueixen, la producció pesquera sí que ho podria fer, atès que aquestes espècies, per raons tècniques i/o econòmiques, deixarien de ser recursos explotables. A aquests efectes directes caldria afegir l'impacte en els hàbitats, que globalment es preveu que sigui molt negatiu. L'acidificació del medi marí és un altre factor associat al canvi climàtic que no es comptabilitza en les prediccions de l'evolució de les captures, però que també afectarà negativament la producció pesquera.

Aquest fenomen és el resultat d'un increment del CO₂ de l'atmosfera, que segons l'IPCC continuarà augmentant en els propers decennis (del 25 al 90 % fins a l'any 2030). Pel que fa a la difusió a les aigües superficials dels oceans, els valors cada vegada més alts de CO₂ atmosfèric provoquen l'augment de la pressió parcial d'aquest GEH. Aquest fenomen comporta la dissociació de l'àcid carbònic, cosa que provoca una disminució del pH de l'aigua del mar i de la concentració de l'ió carbonat (CO₃²⁻).

L'ió carbonat és un element essencial per als organismes que depenen de la deposició de carbonat de calci (CaCO₃) per mitjà de la biomineralització per a la formació d'estructures calcàries, com ara les valves i els exosquelets dels bivalves. Si el procés de biomineralització no es produeix adequadament, la taxa de creixement es redueix i els organismes presenten anomalies morfològiques que provoquen, per exemple, la pèrdua de la capacitat de fixació al substrat. També disminueix la capacitat d'alimentar-se, la qual cosa pot comportar una disminució de l'abundància i, per tant, de la producció pesquera. Les activitats afectades serien tant la pesca extractiva (la pesca de marisc, en aquest cas) com l'aqüicultura extensiva en zones costaneres (Prado *et al.*, 2016).

L'exemple dels bivalves potser és el més flagrant, però no s'ha d'oblidar que els peixos, uns organismes vertebrats subjectes a processos de biomineralització per a la formació de l'esquelet, també poden ser afectats negativament. Similarment, els efectes en els hàbitats poden ser força importants, ja que en casos de pH més baix també poden ser afectats directament o indirectament algunes plantes i fins i tot substrats calcaris d'origen biològic o mineral. A tot això cal afegir l'afectació als organismes bentònics amb estructures calcàries, que són la base alimentària de grups tròfics superiors.

13.4.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la pesca costanera a Catalunya

L'activitat pesquera depèn, en bona part del procés (com ara en la captura, el transport, el processament o l'emmagatzematge), dels combustibles fòssils i, per tant, produeix emissions de CO₂. No obstant això, la major part dels treballs existents

en aquest àmbit han conclòs que la contribució del sector al canvi climàtic és mínima i, en conseqüència, no s'ha posat gaire èmfasi a possibles mesures de mitigació (Troadeç, 2000).

Així, doncs, la major part dels esforços per minimitzar els efectes del canvi global en la producció pesquera han d'anar dirigits a adoptar mesures d'adaptació. A continuació es proposen les mesures que generen més consens internacionalment i que són aplicables a la realitat de la pesca costanera a Catalunya. La principal —i urgent— consisteix en un canvi de paradigma pel que fa al maneig dels recursos pesquers que impliqui deixar de gestionar estocs aïllats per passar a gestionar ecosistemes. Es tracta, doncs, de fer una gestió ecosistèmica dels recursos pesquers (EAF) basada en un enfocament holístic que tingui en compte els coneixements i les incerteses respecte als components biòtics i abiòtics i les interaccions de l'ecosistema (FAO, 2003).

Amb aquest enfocament és possible determinar la variació de la producció pesquera segons paràmetres abiòtics (entre els quals hi ha els relacionats amb el canvi climàtic) i d'explotació dels recursos (com, per exemple, l'esforç de pesca), de manera que es garanteixi la viabilitat econòmica de les activitats pesqueres a llarg termini i s'assoleixi el rendiment màxim sostenible (RMS). Aquest enfocament ecosistèmic també contribueix a aturar la pèrdua de biodiversitat, a restaurar la productivitat del medi marí i, per tant, a augmentar-ne la resiliència.

Aquest tipus de gestió ecosistèmica no és nou: l'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO) ja el va proposar l'any 1995, en el marc del principi de precaució en la gestió pesquera, i, de fet, la Unió Europea va considerar que adoptar-lo era obligatori. L'any 2002, en el marc de la Cimera per al Desenvolupament Sostenible celebrada a Johannesburg, la Unió Europea va adquirir el compromís de mantenir les poblacions de peixos o restablir-les a nivells que poguessin produir l'RMS i d'aconseguir, urgentment, aquests objectius amb relació a les poblacions esgotades.

Aquest compromís es veu reflectit a la nova política pesquera comuna, que va entrar en vigor el gener

del 2014: els plans plurianuals s'adoptaran prioritàriament d'acord amb dictàmens científics, tècnics i econòmics, i contindran mesures de conservació destinades a aconseguir el restabliment i el manteniment progressiu de les poblacions de peixos per sobre d'uns nivells de biomassa capaços de produir l'RMS.

Cal destacar que, com s'esmenta a la política pesquera comuna, aquesta gestió dels recursos pesquers amb un enfocament ecosistèmic es basa en el coneixement; per tant, la recerca hauria de tenir un paper preponderant en el desenvolupament i la implementació d'aquests nous esquemes de gestió sostenible.

Una altra mesura d'adaptació que s'ha demostrat efectiva en alguns indrets del món és la creació de zones d'exclusió de pesca, complementada amb una gestió d'hàbitats que ajudi a pal·liar la disminució d'alguns estocs pesquers (com, per exemple, la protecció de les praderies de fanerògames o la instal·lació d'esculls artificials). Cal disposar d'un bon coneixement de tota la costa per a identificar les zones menys afectades per l'escalfament o per l'acidificació i adoptar les mesures de gestió d'hàbitats adequades. Aquest coneixement també serà útil per a prioritzar els indrets d'implementació d'estructures d'aqüicultura, com ara les gàbies flotants per a la cria o l'engreix de peixos.

Finalment, els consumidors també s'han d'adaptar a la nova realitat i assumir que no serà possible continuar consumint les espècies marines consumides fins ara.

13.5. La indústria agroalimentària

La indústria agroalimentària és un àmbit econòmic d'una gran importància per al nostre país, ja que aporta el 3,8 % del PIB català i concentra el 23,5 % de les vendes de tota la indústria agroalimentària de l'Estat espanyol. Sense intermediaris ni serveis, el pes de l'agricultura i la indústria agroalimentària en el PIB català és del 15 % (l'energia representa el 1,8 % i l'automoció, el 2,7 %). D'altra banda, la suma de tots els sectors relacionats amb el sector agroalimentari (l'agricultura i els serveis associats, la indústria, la distribució, la restauració i el comerç, tant a l'engròs com al detall) representa el 30,5 % del PIB català.

Actualment, inclou unes 2.600 empreses, les quals l'any 2015 van generar, segons l'Institut d'Estadística de Catalunya, un negoci de 22.230 milions d'euros (el 17 % del total) i van donar feina a 75.600 persones. En termes relatius, representa prop del 18 % de la xifra de negoci i més del 16 % de l'ocupació de la indústria catalana, fet que el converteix en un dels primers sectors manufacturers.

Malgrat que es considera un sector madur, la demanda de productes agraris canvia d'acord amb els nous hàbits de la societat. Per incrementar la quota de mercat, els productors i les empreses alimentàries s'intenten adaptar a les preferències del consumidor i ofereixen més diversitat, productes de preparació i consum fàcils, aliments funcionals i ecològics, i envasos amb formats més pràctics i sostenibles.

Per tot això, és imprescindible disposar d'una visió i una estratègia de país que permeti aprofitar la capacitat de tracció d'aquest sector i totes les potencialitats de l'entorn per a convertir Catalunya i tots els seus agents en una referència mundial en l'àmbit de l'alimentació a mitjà i a llarg termini.

13.5.1. Efectes del canvi climàtic en la indústria agroalimentària a Catalunya

El canvi global i el canvi climàtic actuen sinèrgicament en el sector agropecuari i la indústria associada. A la vegada, les noves condicions ambientals generen potencialment productes diferents en origen (diferents cultius, graus de maduració, dates de collita, qualitats, etc.), la qual cosa incideix en les noves necessitats de la indústria, com ara el tipus de maquinària, la climatització o l'ús de l'aigua.

Aquests nous balanços, que en alguns casos caldrà modificar o corregir en l'àmbit de la indústria, representen originalment més despesa energètica i la necessitat d'incrementar l'eficiència dels processos i dels productes per a continuar mantenint una bona posició en el mercat i garantir-ne la sostenibilitat ambiental.

13.5.2. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic de la indústria agroalimentària a Catalunya

La mitigació i l'adaptació de la indústria agroalimentària al canvi climàtic comporta necessàriament

calcular la petjada de carboni que genera (seguint la recomanació de la Unió Europea 2013/179/UE) i utilitzar els resultats per a optimitzar els processos al llarg del cicle de vida i de la distribució d'un producte de manera que se'n minimitzi l'impacte ambiental. En aquest sentit, la reducció de la petjada de carboni implica la minimització del consum d'energia i del consum de matèries primeres en els processos de fabricació, envàs i embalatge, així com l'optimització del transport i la distribució dels productes.

13.6. L'aigua

L'aigua, un element bàsic per a tota activitat viva i necessari per a la major part de les activitats humanes, és un recurs cabdal per al present i el futur del sector agroalimentari —i, per tant, per a la producció alimentària— a Catalunya. Malgrat que la primera i la segona edició d'aquest INFORME el van abordar d'una manera transversal, en aquesta ocasió s'ha valorat la necessitat de tractar-lo des d'aquesta perspectiva específica (d'altra banda, cal recordar que el capítol 7 d'aquest INFORME s'ha dedicat als recursos hidrològics).

Cal destacar, en aquest sentit, que el nostre país disposa de grups de recerca destacats que treballen, arreu de la geografia, en les diverses fases del cicle de l'aigua. Això permet disposar d'una bona base de coneixement que en aquest apartat s'utilitzarà per a analitzar els efectes del canvi climàtic en el binomi aigua / producció alimentària.

13.6.1. La importància de l'aigua

El sector socioeconòmic que utilitza més aigua a Catalunya és l'agricultura (el sector agrícola i ramader), que arriba a gestionar del 70 al 80 % dels recursos hídrics del nostre país (ACA, 2015). Des d'un punt de vista estrictament ambiental, l'agricultura és una usuària important d'aigua, però al mateix temps —i potser involuntàriament— actua com a reguladora del sistema hidrològic per mitjà de les diferents pràctiques agrícoles (en alguns casos d'una manera passiva i en altres d'una manera més sistemàtica).

L'aigua és un bé escàs i de subministrament irregular, atès el caràcter mediterrani del nostre clima. Requereix, per tant, una gestió integral i amb visió de futur.

En un context de demanda creixent de productes agrícoles (que requereix, en part, una intensificació més gran de la producció per a obtenir una productivitat més gran per unitat de superfície i entrada) en el qual la necessitat de desenvolupar una política ambiental ambiciosa es fa més evident que mai, el repte del sector agroalimentari per al segle XXI adquireix grans dimensions. Especialment, perquè les pràctiques utilitzades fins ara tenen límits clars pel que fa a les entrades (la utilització de recursos no renovables) i a les sortides (la saturació de la producció i la contaminació associada).

L'any 2000, amb l'aprovació de la Directiva marc de l'aigua, les institucions europees van abordar, d'una manera global per primera vegada, la multiplicitat de reptes que presenten les aigües i van posar en evidència que la gestió de l'aigua va molt més enllà del tractament i la distribució de l'aigua potable. Com que l'objectiu a llarg termini és garantir la sostenibilitat dels recursos hídrics, aquesta directiva conté mesures sanitàries (com ara l'aprofitament d'aigües regenerades), qualitatives (com, per exemple, els nivells de contaminació o l'equilibri de nutrients) i quantitatives (com ara el manteniment del cicle de l'aigua en tots els àmbits biològics i hidrològics).² No obstant això, inicialment va néixer mancada d'una visió que facilités la gestió eficient d'uns recursos hídrics que són limitats.

Catalunya té un nivell d'autosuficiència alimentària de prop del 40 % (Reguant, 2011), una dada que coincideix amb l'estudi de la petjada hídrica de l'alimentació de la població i els recursos hídrics que s'hi destinen (elaboració pròpia). Reduir aquest nivell d'autosuficiència podria ser perillós per a la sobredependència d'altres territoris i comportar una disminució en la quantitat d'esforç humà (agricultors) que gestiona el territori. Per tant, l'increment en la millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua de regadiu a Catalunya es considera un element molt necessari.

2. Vegeu, per exemple, el Reglament (UE) 2015/1474 de la Comissió, del 27 d'agost, sobre l'ús d'aigua calenta reciclada per a eliminar la contaminació microbiològica de superfície dels canals i el Reial decret 1075/2015, del 27 de novembre, pel qual es modifica l'annex II del Reial decret 1514/2009, del 2 d'octubre, pel qual es regula la protecció de les aigües subterrànies contra la contaminació i el deteriorament.

L'anàlisi d'una realitat com aquesta a escala reduïda (en l'àmbit català) podria ser enganyosa. Per tant, cal una visió més àmplia, si pot ser mundial, de la gestió de l'aigua, la producció d'aliments i la protecció del territori respecte als reptes del canvi climàtic i de l'augment de la població mundial. La major part de les referències coincideixen en la vinculació de la producció rellevant al regadiu en les àrees mediterrànies. També coincideixen en la idea que la millora de l'eficiència productiva de l'aigua és un element clau per a mantenir aquesta producció, especialment als indrets on els recursos d'aigua destinats al reg són limitats i competeixen amb altres usos (Fribauer *et al.*, 2011; FAO, 2009).

13.6.2. Efectes del canvi climàtic

Segons la FAO, els països es poden classificar d'acord amb un *índex d'estrès hídric* basat en els recursos hídrics anuals per a la població. Així, es proposa un llindar de 1.700 m³ per persona i any, per sota del qual els països estan en situació d'estrès hídric, i s'arriba al terme *escassetat d'aigua* quan aquest índex és inferior a 1.000 m³ per persona i any.

Al final del segle XXI s'espera que Catalunya experimentarà un increment de l'evapotranspiració (ET) d'aproximadament el 13 % i un descens de la pluviometria proper al 13 %, que situarien la disponibilitat d'aigua al voltant dels 1.850 m³ per persona i any. És a dir, uns valors molt propers al llindar de l'estrès hídric (actualment, en algunes àrees molt localitzades ja s'estaria per sota d'aquest llindar).

Aquests canvis en les condicions ambientals podrien afectar el balanç hídric i, segons el cultiu, l'any i el lloc, comportar un increment dels requeriments d'aigua de reg per a fer cara a la demanda hídrica dels conreus, a conseqüència de la disminució directa en la quantitat d'aigua disponible edàficament, de l'increment de les demandes atmosfèriques al llarg de la temporada i dels canvis en la fenologia d'aquests cultius (Savé *et al.*, 2012). Cal tenir present, en aquest punt, que actualment Catalunya tan sols cobreix per reg les necessitats d'un 30 % de la superfície agrícola.

El canvi climàtic pot comportar un augment de la temperatura local o general. En l'àmbit regional, no totes les àrees seran afectades de la mateixa manera pel canvi i, en conseqüència, els sectors més exposats seran potencialment més vulnerables al canvi climàtic, tant per pèrdues directes de la productivitat agrícola (la producció inferior) com d'una manera indirecta (per l'augment dels costos de producció). Els resultats obtinguts en els projectes MEDACC i ACCUA posen de manifest, per a les conques del Segre, el Siurana, la Tordera, el Ter, el Fluvià i la Muga, els efectes del microclima, la tipologia dels conreus i les pràctiques agronòmiques en les necessitats d'aigua dels conreus al llarg del segle XXI.

13.6.3. Estratègies de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic

D'acord amb les darreres dades disponibles de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), l'agricultura consumeix aproximadament el 75 % de l'aigua gestionada a Catalunya (amb una demanda de 2.500 hm³/any) i el 12 % de l'aigua total aportada per la pluja (21.200 hm³/any). Amb tota aquesta aigua es produeix el 40 % dels aliments consumits a Catalunya.

L'aigua que s'utilitza en l'agricultura serveix bàsicament per a produir aliments i productes d'ús

general (com ara fibres, plantes ornamentals, etc.). A Catalunya, el regadiu permet passar d'un índex general mitjà productiu de 4,68 en secà a un de 18,67 en regadiu (elaboració pròpia a partir de dades del DARP). Tenint en compte la ubicació geogràfica i climàtica dels regadius i dels secans, la hipòtesi més versemblant és que la productivitat de les zones de regadiu cultivades sense aigua és molt baixa. Per tant, la producció en condicions de no-regadiu en les zones de regadiu actuals es considera una opció no viable.

En aquestes condicions, un augment d'1,4 °C en la temperatura mitjana podria representar, per als conreus permanents, un increment de la demanda evapotranspirativa de 68 mm/any, mentre que per a 0,8 °C més de temperatura l'increment seria de 38 mm/any. Si això es tradueix en requeriments de reg, els increments podrien ser de 61 mm/any (per a l'increment d'1,4 °C) i de 35 mm/any (per al de 0,8 °C). Les disminucions pluviomètriques previstes tindrien, per tant, un efecte directe en la demanda de reg relativament baixa (de 3 a 8 mm/any) (taula 13.2).

En el cas dels conreus anuals, les estimacions disponibles preveuen que fins a 1 °C d'increment de la temperatura la demanda hídrica d'aquests conreus no augmentaria i que només amb augments

TAULA 13.2. Estimació de la demanda hídrica dels conreus permanents segons diferents escenaris climàtics a Catalunya

ΔT	Evapotranspiracions		ΔPPT		
			0,0 (%)	-2,4 (%)	-6,8 (%)
	ET_0	ET_c	NR		
(°C)	(mm/any)	(mm/any)	(mm/any)	(mm/any)	(mm/any)
0,0	1215	827	621	—	—
0,5	1251	851	643	—	—
0,8	1273	865	656	659	664
1,0	1287	875	664	—	—
1,4	1317	895	682	685	690
1,5	1325	900	686	—	—
2,0	1363	925	709	—	—

ΔT : increment de la temperatura; ET_0 : evapotranspiració de referència determinada segons el mètode de Penman-Monteith (FAO56); ET_c : evapotranspiració del conreu (en aquest cas, de la pomera); ΔPPT : increment de la precipitació, i NR: necessitats de reg (una vegada deduïda la pluja eficient de l' ET_0).

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'estació climàtica de Mollerussa (SMC).

propers als 2 °C es podria produir un increment lleuger de la demanda hídrica (que seria inferior a l'observada en els conreus permanents).

Tenint en compte la distribució dels conreus a Catalunya, amb un percentatge de conreus anuals del 62 % i un percentatge de conreus per-

manents del 38 %, tant en secà com en regadiu (taula 13.3), les demandes d'aigua per al regadiu podrien augmentar de 60 a 118 hm³/any segons el cas estudiat (taula 13.4). Assumint una eficiència mitjana de reg de tota la superfície de regadiu a Catalunya del 65 %, els requeriments d'aigua per al reg en el cas més desfavorable (el

TAULA 13.3. Distribució de conreus a Catalunya

Cultius	Superfície			Producció total (t)	Distribució de la superfície		
	Secà (ha)	Regadiu (ha)	Total (ha)		Secà (%)	Regadiu (%)	Total (%)
Hortalisses	163	10.000	10.163	256.799	0,0	4,0	1,3
Cereals	253.352	101.204	354.556	1.911.599	49,1	40,4	46,3
Ferratges	50.113	40.918	91.031	3.152.772	9,7	16,3	11,9
Lleguminoses	1.251	484	1.735	2.474	0,2	0,2	0,2
Tubèrculs	337	985	1.322	29.385	0,1	0,4	0,2
Indústrials	11.784	2.003	13.787	32.432	2,3	0,8	1,8
Flosr i plantes orn.	190	2.057	2.247	0	0,0	0,8	0,3
Cítrics	0	9.549	9.549	166.615	0,0	3,8	1,2
Fruiters	40.420	59.801	100.221	833.732	7,8	23,9	13,1
Olivera	98.719	18.210	116.929	128.352	19,1	7,3	15,3
Vinya	51.267	3.575	54.842	499.711	9,9	1,4	7,2
Altres llenyosos	7.776	583	8.359	14.714	1,5	0,2	1,1
Vivers	179	919	1.098	—	0,0	0,4	0,1
Total	515.551	250.288	765.839	7.028.585	100,0	100,0	100,0
Cult. anuals	317.190	157.651	474.841	5.385.461	61,5	63,0	62,0
Cult. Permanents	198.361	92.637	290.998	1.643.124	38,5	37,0	38,0

Font: Dades extretes del DARP (2013) i elaboració pròpia.

TAULA 13.4. Determinació dels possibles increments dels requeriments de reg segons els escenaris climàtics estudiats

Conreus en regadiu	Superfície	Casos estudiats			
		35 (mm/ha)	38 (mm/ha)	61 (mm/ha)	69 (mm/ha)
	(ha)	ΔNR			
	(ha)	hm ³ /any	hm ³ /any	hm ³ /any	hm ³ /any
Total	250.288	60,01	65,16	104,59	118,31
Anuals	157.651	27,59	29,95	48,08	54,39
Permanents	92.637	32,42	35,20	56,51	63,92

Els casos estudiats corresponen als mm/(ha any) en què augmentaria la demanda d'aigua de reg directament consumida pels conreus segons els resultats de la taula 13.2: 35 mm/ha = ΔT 0,8 °C i ΔPPT 0,0 %; 38 mm/ha = ΔT 0,8 °C i ΔPPT -2,4 %; 61 mm/ha = ΔT 1,4 °C i ΔPPT 0,0 %, i 69 mm/ha = ΔT 1,4 °C i ΔPPT -6,8 %.

Font: Elaboració pròpia a partir de les taules anteriors.

cas de 69 mm/ha i 118,31 hm³/any) s'incrementarien en 197 hm³ i representarien un 7,9 % dels que s'hi destinen actualment.

Atès que l'increment de la temperatura, la disminució de la precipitació i l'increment de la variabilitat estacional previstos poden afectar considerablement la disponibilitat de recursos hídrics a Catalunya, no és previsible que aquests 197 hm³ es puguin extreure d'altres usos i, per tant, si es vol mantenir la superfície de regadiu caldrà incrementar l'eficiència productiva de l'ús de l'aigua de reg. Aquestes millores en l'eficiència productiva són totalment assumibles per l'agricultura (Girona *et al.*, 2012), tant pel que fa als conreus anuals com als permanents. En tots dos casos, l'eficiència s'assolirà mitjançant millores en els sistemes de reg i en el maneig.

L'objectiu final de la R+D+I catalana aplicada a aquest sector hauria de ser la millora de l'eficiència productiva (kg d'aliment/m³ d'aigua utilitzat) per a superar l'increment de la demanda d'aigua dels conreus, atès que el canvi climàtic pot provocar una reducció de l'aigua disponible a Catalunya (3.600 hm³, actualment gestionats per l'ACA i la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre, a més de la que prové directament de pluja).

Aquesta millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua comportaria disposar de sistemes de distribució i de gestió de l'aigua de reg (comunitats de regants) que facilitessin un ús eficient de l'aigua als regants, de sistemes de reg d'alta eficiència gestionats acuradament, de sistemes d'informació i de suport als regants que permetessin assolir aquests objectius, i de programes de R+D+I orientats a desenvolupar, adaptar o implementar la informació i els coneixements necessaris.

Un altre punt que és important analitzar és el procés pel qual l'increment de temperatura, a part de generar un increment en la demanda d'evapotranspiració, provoca tot un conjunt de canvis metabòlics en les espècies i n'altera la fenologia. Per aquest motiu, caldrà tenir en compte els cops de sol, les floracions irregulars i/o inexistents (comercialment), el desacoblament entre espècies, el desajust entre maduració alcohòlica i fenòlica del raïm/vi, els canvis en la qualitat organolèptica de

fruites i hortalisses (López Bustins *et al.*, 2014) i l'adequació del maneig dels conreus per a l'adaptació a períodes probables de sequera (Marsal *et al.*, 2006).

13.7. Conclusions

L'increment de la temperatura de l'aire, la reducció progressiva de la pluviometria, juntament amb un augment de la irregularitat, i l'augment de GEH a l'atmosfera (IPCC, 2014) són elements preocupants que afecten directament el sistema agroalimentari català. Aquesta situació necessita una resposta proactiva de la societat catalana.

La societat catalana és una societat educada, informada i tecnificada, fet que ha de facilitar un establiment ràpid de mesures de mitigació i d'adaptació, tant des del punt de vista dels productors com des del punt de vista dels consumidors dels productes agroalimentaris.

Pel que fa al control de la mitigació de les emissions de GEH, se'n detecten diverses fonts, entre les quals cal destacar els adobs nitrogenats, la gestió dels rostolls, els residus d'esporga i l'activitat ramadera.

La gestió dels adobs nitrogenats és un factor bàsic per a la producció agrària, però també per a la mitigació de les emissions de GEH. Per tant, la millora en l'eficiència d'aquest tipus d'adobs (tant minerals com orgànics) és fonamental per a reduir la contribució de l'agricultura al canvi climàtic.

La gestió i l'enterrament dels rostolls dels cultius poden contribuir a reforçar el paper del sòl com a embornal de carboni i, alhora, millorar-ne la qualitat.

La ramaderia ha de fer un gran esforç per a millorar la gestió animal en cada zona i en cada sistema de producció, fent èmfasi en l'alimentació dels animals d'acord amb les necessitats individuals, la raça, el sexe, el genotip i la taxa de creixement. La recerca en nutrigenòmica i la ramaderia de precisió esdevindran peces claus per a aconseguir un procés productiu eficient i alhora contribuir a la mitigació del canvi climàtic.

L'IPCC preveu una disminució de les captures a la costa catalana de fins al 20 % a mitjan segle XXI a

causa de l'escalfament global. Aquest decrement encara pot ser més gran si es comptabilitzen els efectes de l'acidificació del medi marí a causa de l'augment del CO₂.

La mesura principal d'adaptació al canvi climàtic consisteix en un canvi de paradigma en la gestió de la pesca: passar de gestionar estocs a gestionar ecosistemes. Aquest enfocament ecosistèmic de la gestió dels recursos pesquers (EAF) és un compromís de la nova política pesquera comuna (2014) i, per tant, ha de ser una prioritat en l'agenda de política pesquera catalana. Com que l'EAF es basa en el coneixement de les interaccions entre espècies, factors abiòtics i esforç de pesca, la recerca hauria d'exercir un paper preponderant en el desenvolupament i la implementació d'aquests nous esquemes de gestió sostenible.

Tant l'IPCC com altres informes estratègics (de la FAO o la Unió Europea) descriuen la disponibilitat d'aigua com l'element més vulnerable i estratègic a causa de dos factors importants: el canvi climàtic (l'augment de la temperatura i la reducció de l'aigua de pluja utilitzable) i l'increment en la demanda d'aliments.

És imprescindible portar a terme una gestió integral de l'aigua que sigui eficient en tots els àmbits. L'aigua s'ha de valorar globalment, ja que hi ha molts actors implicats i moltes necessitats per a cobrir. Cal veure-la com un bé escàs i irregular que requereix una gestió feta avui, pensant en demà i des d'una visió holística, ja que altrament es poden acabar extraient conclusions errònies i, per tant, potencialment perjudicials.

Des d'un punt de vista agrícola, la millora en l'eficiència productiva de l'aigua ha de ser un objectiu primordial, sempre que aquesta aposta per l'eficiència no impliqui requeriments energètics o d'alta sofisticació en la gestió. L'agronomia i el sentit comú tenen un gran paper per a exercir en aquesta tasca.

13.8. Recomanacions

- 1) Mantenir la societat informada de les conseqüències que les actituds de consum d'aliments tenen en el canvi climàtic. Proporcionar-li els indicadors que permetin elegir entre productes o establir pautes alimentàries.
- 2) Crear grups de treball pluridisciplinaris i estables que orientin els debats sobre els efectes del canvi climàtic en les realitats agrària, ramadera i pesquera catalanes (en un món globalitzat). Les conclusions d'aquests grups han d'ajudar tant a transmetre un missatge clar a la societat com a orientar amb més detall les actuacions que cal dur a terme en aquest àmbit.
- 3) Fomentar mètodes i sistemes que permetin incrementar l'eficiència productiva de l'agricultura i la ramaderia ecològiques, els conreus associats i l'agroforesteria com a mecanismes de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic, i fer-los atractius pel que fa a la rendibilitat.
- 4) Desenvolupar estratègies noves, o fomentar l'aplicació de les existents, que millorin l'eficiència de l'ús del nitrogen (mineral i orgànic) als conreus. Incorporar en aquestes estratègies totes les fonts disponibles de nitrogen (com ara rostolls o orgànics) i evitar tant les pèrdues que s'incorporen als GEH com les que puguin contaminar el sòl o els aqüífers.
- 5) Introduir i aplicar els conceptes de ramaderia de precisió, adaptats a cada zona i a cada sistema de producció, així com el control ambiental de les granges, com a estratègia per a la reducció dels GEH.
- 6) Impulsar la recerca i l'aplicació de la nutrigenòmica a les espècies per a mantenir la salut animal, optimitzar el rendiment dels animals i millorar la qualitat i la seguretat dels productes lactis i carnis.
- 7) Centrar l'estratègia per a minimitzar els efectes del canvi climàtic en la pesca costanera a Catalunya en les mesures d'adaptació, basades en el coneixement de les relacions entre espècies i hàbitats.
- 8) Enfocar la gestió de la pesca des d'un punt de vista ecosistèmic que també contribuirà a aturar la pèrdua de biodiversitat, a restaurar la productivitat del medi marí i, per tant, a augmentar-ne la resiliència.
- 9) Desenvolupar sistemes més eficients de maneig dels residus i de reciclatge dels nutrients amb la finalitat de poder utilitzar tots els nutrients naturals disponibles i reduir les aportacions provinents del fora del sistema.
- 10) Optimitzar l'ús de l'energia en els processos de la cadena alimentària des de la producció fins al consumidor.

- 11) Promoure sistemes de gestió eficient de l'aigua en l'agricultura que augmentin tant com sigui possible l'eficiència (kg aliments produïts/m³ d'aigua utilitzats) dins d'uns marges d'eficàcia i sostenibilitat de les explotacions. Això significa potenciar la recerca orientada a aportar solucions als actors vinculats amb l'ús de l'aigua (com ara els regants, els gestors de l'aigua o els tècnics), basada en un sistema de cooperació participativa entre tots (de manera que es garanteixi una transferència més eficaç entre els investigadors i els usuaris).
- 12) Potenciar la R+D+I de la gestió eficient de l'aigua agrícola, una gestió que s'ha de fer des de les administracions públiques perquè l'aigua és un bé públic i, a més, perquè difícilment ningú no invertirà individualment en el desenvolupament d'un bé comú, si no és que esdevé una activitat rendible econòmicament.
- 13) Abordar la planificació i la gestió de l'ús de l'aigua a Catalunya d'una manera global, no sectorial (per a l'ús agrícola, per a l'urbà, etc.), tenint en compte especialment els efectes del canvi climàtic en l'aigua de la Mediterrània.

Referències bibliogràfiques

- ABALOS, D.; JEFFERY, S.; SANZ-COBENA, A. [et al.] (2014). «Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 180, p. 136-144.
- ACA = AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2015). «Eficiència en el reg agrícola». A: *Agència Catalana de l'Aigua* [en línia]. <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca?_nfpb=true&_pageLabel=P1400026681236618303483&_nfls=false> [Consulta: 5 maig 2016].
- Adaptacions al canvi climàtic en l'ús de l'aigua: Memòria final 2011* [en línia] (2012). <http://www.crea.uab.cat/accua/ACCUA_tecnica_internet.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].
- ÁLVARO, J.; PALZA, J.; ARRÚE, J. L. [et al.] (2014). «Soil organic carbon storage in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions». *Plant Soil*, 376, p. 31-41.
- BAILEY, R.; FROGGATT, A.; WELLELELY, L. (2014). *Livestock - climate change's forgotten sector: Global public opinion on meat and dairy consumption*. Londres: The Royal Institute of International Affairs.
- BIAU, A.; SANTIVERI, F.; LLOVERAS, J. (2013). «Stover management and nitrogen fertilization effects on corn production». *Agronomy Journal*, 105, p. 1264-1270.
- CCPAE = CONSELL CATALÀ DE LA PRODUCCIÓ AGRÀRIA ECOLÒGICA (2015). *Recull d'estadístiques del sector ecològic a Catalunya* [en línia]. <http://www.ccpae.org/docs/estadistiques/2015/00_2015_ccpae_recull-estadistiques.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].
- DARP = DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA I ALIMENTACIÓ (2013). «Estadístiques definitives». A: *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació* [en línia]. <http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/dar_estadistiques_observatoris/dar_estructura_produccio/dar_estadistiques_agricoles/dar_estadistiques_definitives> [Consulta: 5 maig 2016].
- (2014). «Consum». A: *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació* [en línia]. <http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/pesca/dar_comercialitzacio_peix/dar_promocio_i_consum/dar_consum> [Consulta: 5 maig 2016].
- (2015a). «Dades totals de captures de pesca a Catalunya». A: *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació* [en línia]. <http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/pesca/dar_estadistiques_pesca_subhastada/dar_subhastada_llotges_catalanes> [Consulta: 5 maig 2016].
- (2015b). «Zones vulnerables i programa de mesures agronòmiques aplicables». A: *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació* [en línia]. <http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/agricultura/dar_fertilizants_fertilizacio/dar_fertilizacio/dar_zones_vulnerables> [Consulta: 5 maig 2016].
- EC = EUROPEAN COMMISSION (2010). *An analysis of the EU organic sector* [en línia]. <http://ec.europa.eu/agriculture/markets-and-prices/more-reports/pdf/organic_2010_en.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].

- (2011). *Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world: The 3rd SCAR foresight exercise*. Luxemburg: Publications Office of the European Union. DOI: 10.2777/49719.
- FAO = FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2003). *Fisheries Management: 2. The ecosystem approach to fisheries*. Roma: FAO.
- (2009). *Global agriculture towards 2050. Paper presented to High-level Expert Forum on «How to feed the world in 2050»*. Roma: FAO.
- FUNES, I.; ARANDA, X.; BIEL, C. [et al.] (2015). «Future climate change impacts on apple flowering date in a Mediterranean subbasin». *Agricultural Water Management*, 164, p. 19-27. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.06.013.
- GHORMADE, V.; KHARE, A.; BAGHEL, R. P. S. (2011). «Nutrigenomics and its applications in animal science». *Veterinary Research Forum*, 3, p. 147-155.
- GIRONA, J.; CASADESÚS, J.; MATA, M. [et al.] (2012). «Eficiencia productiva del agua en función de la tecnología y el conocimiento aplicados al manejo del riego en diferentes cultivos». Comunicació al congrés *Agricultura, agua y energía*, Madrid.
- GRÀCIA, C.; SABATÉ, S.; VAYREDA, J. [et al.] (2010). «Embornals». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 135-182.
- HRISTOV, A. N.; OH, J.; LEE, C. [et al.] (2013). *Mitigación de las emisiones de gases efecto invernadero en la producción ganadera: Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂*. Roma: FAO.
- IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2014). «Producció agrícola. Per productes. Províncies». A: *Web de l'estadística oficial de Catalunya* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=446>> [Consulta: 5 maig 2016].
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de Core Writing Team, R. K. Pachauri, L. A. Meyer [et al.]. Ginebra: IPCC. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>> [Consulta: 5 maig 2016].
- JRC = JOINT RESEARCH CENTER OF THE EUROPEAN COMMISSION; MONITORING AGRICULTURAL RESOURCES UNIT (2014). *Precision agriculture: An opportunity for EU farmers - Potential support with the CAP 2014-2020*. Directorate-General for Internal Policies. També disponible en línia a: <http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT%282014%29529049_EN.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].
- LLORET, J.; SABATÉS, A.; MUNOZ, M. [et al.] (2015). «How a multidisciplinary approach involving ethnoecology, biology and fisheries can help explain the spatio-temporal changes in marine fish abundance resulting from climate change». *Global Ecology and Biogeography*, 24, p. 448-461.
- LLOVERAS, J.; CABASÉS, M. A. (2014). «Avaluació dels costos de producció de cultius extensius en secà i regadiu». *Dossier Tècnic*, 69, p. 7-18.
- LÓPEZ BUSTINS, J. A.; PLA, E.; NADAL, M. [et al.] (2014). «Global change and viticulture in the Mediterranean region: a case of study in north-eastern Spain». *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(1), p. 78-88.
- MARIS, S.; TEIRA, M. R.; CATALÀ, M. (2016). «Influence of irrigation frequency on greenhouse gases emissions from a paddy soil». *Paddy Water Environment*, 14, p. 199-210. DOI: 10.1007/s10333-015-0490-2.
- MARSAL, J.; LÓPEZ, G.; MATA, M. [et al.] (2006). «Branch removal and defruiting for the amelioration of water stress effects on fruit growth during stage III of peach fruit development». *Scientia Horticulturae*, 108, p. 55-60.
- MEDACC: *Adaptant la Mediterrània al canvi climàtic* [en línia]. <<http://medacc-life.eu/ca>> [Consulta: 5 maig 2016].
- MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPTETITIVIDAD. SECRETARÍA DE ESTADO DE COMERCIO (2014). *DataComex: Estadísticas del comercio exterior español* [en línia]. <<http://datacomex.comercio.es>> [Consulta: 5 maig 2016].
- OCCC = OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2014). *Cinquè informe de progrés a Catalunya sobre els*

- objectius de Kyoto* [en línia]. <http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes_i_comunicacio/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Informes_de_progres_Kioto/Cinque-Informe-de-Progres_Final_amb-tapa.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].
- PRADO, P.; ROQUE, A.; IBÁÑEZ, I. [et al.] (2016). «Warming and acidification-mediated survival to bacterial infection determine mortality and size patterns of larval stages of *Ostrea edulis*». *Marine Ecology Progress Series*, 545, p. 189-202.
- REGUANT, F. (2011). *Entendre l'agricultura: Una eina imprescindible per sortir de l'embolic del segle XXI*. Lleida: Pagès.
- REGUANT, F.; BONET, R. (2013). «Llegendes i estadístiques sobre l'agricultura i el món rural». *Quaderns Agraris*, 35, p. 25-49.
- RIBAS, A.; LLURBA, R.; GOURIVEAU, F. [et al.] (2015). «Plant identity and evenness affect yield and trace gas exchanges in forage mixtures». *Plant and Soil*, 391, p. 93-108.
- RUFAT, J.; GIRONA, J.; ARBONÉS, A. [et al.] (2006). «Millora de l'eficiència de l'aigua de reg en panís. Estudi comparatiu del reg a pressió respecte al reg a manta en l'àrea regable dels Canal d'Urgell (Lleida)». *Dossier Tècnic*, 11, p. 3-6.
- SANTIVERI, F.; ROBLES, J.; LLOVERAS, J. [et al.] (2014). «Comparison of sustainability between organic and conventional wheat production». A: PEPÓ, P.; CSAJBÓK, J. (ed.). *Book of abstracts of the XIII European Society of Agronomy Congress*. Debrecen: University of Debrecen, p. 351-352.
- SAVÉ, R.; HERRALDE, F. DE; ARANDA, X. [et al.] (2012). «Potential changes in irrigation requirements and phenology of maize, apple trees and alfalfa under global change conditions in Fluvià watershed during XXIst century: Results from a modeling approximation to watershed-level water balance». *Agricultural Water Management*, 114, p. 78-87.
- SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H. [et al.] (2014). «Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició d'O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press, p. 1-179. També disponible a: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf> [Consulta: 5 maig 2016].
- TEIRA, M. R. (2008). *Informe per a la millora de la gestió dels purins porcíns a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- TROADEC, J. P. (2000). «Adaptation opportunities to climate variability and change in the exploitation and utilisation of marine living resources». *Environmental Monitoring and Assessment*, 61, p. 101-112.
- TUOMISTO, H. L.; HODGE, I. D.; RIORDAN, P. [et al.] (2012). «Does organic farming reduce environmental impacts? A meta-analysis of European research». *Journal of Environmental Management*, 112, p. 309-320.
- ZUCCARINI, P.; SAVÉ, R. (2015). «Three species of arbuscular mycorrhizal fungi confer different levels of resistance to water stress in *Spinacia oleracea* L.». *Plant Biosystems*. DOI: 10.1080/11263504.2014.994575.

14 Energia

Autors

Ramon Garriga

Josep Maria Serena

Ramon Garriga és enginyer industrial especialitat tècniques energètiques. Fins al mes de setembre de 2015 va ser director de l'Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC). Vicepresident de la plataforma espanyola d'indústria de la ciència. Ha estat degà del Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, vocal del CADS i president de l'Institut Català de Tecnologia, director i conseller delegat d'empreses relacionades amb l'energia.

Josep Maria Serena és doctor en enginyeria industrial per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona i màster en administració

d'empreses (MBA) per l'ESADE. Ha estat professor de l'ESADE, de l'ICT, i de la Universitat John Hopkins. També estat consultor per al Fons Mundial per al Medi Ambient (GEF) de les Nacions Unides i per a la Regional Plan Association de Nova York. També ha participat com a assessor mediambiental per a temes europeus de la presidència de NIOSH (Institut Nacional per a la Seguretat i Salut Ocupacional), a l'US Department of Health and Human Services (Departament de Salut i Serveis Humans dels EUA). Des del 1993 és conseller delegat d'AUMA Consultores en Medio Ambiente y Energía.

Sumari

Síntesi	339
14.1. Introducció	340
14.2. Evolució del consum d'energia a Catalunya	341
14.2.1. Consum d'energia primària i final	341
14.2.2. Consum d'electricitat i carburants d'automoció	341
14.2.3. Evolució de la potència elèctrica instal·lada	341
14.3. Evolució de les emissions de GEH en el processament de l'energia	343
14.3.1. Període d'aplicació del Protocol de Kyoto (2008-2012)	343
14.3.2. Emissions els anys 2013 i 2014	346
14.4. Accions correctores vigents	348
14.4.1. Europa	348
14.4.2. Catalunya	349
14.4.2.1. Objectius quantitius del PECAC 2020	349
14.4.2.2. Comentaris al PECAC 2020	350
14.5. Vers una energia neta	352
14.5.1. Una visió des dels EUA	352
14.5.2. La visió d'Europa	352
14.5.3. El futur de l'energia i de la mitigació del canvi climàtic a Catalunya	354
14.5.3.1. Mesures no tecnològiques	355
14.5.3.2. Mesures socials amb suport tecnològic	356
14.5.3.3. Mesures tecnològiques	356
14.5.3.4. Recerca	357
14.6. Conclusions	358
14.7. Recomanacions	359
Referències bibliogràfiques	360

Síntesi

Amb l'objectiu de donar continuïtat al *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC), en primer lloc es posen al dia les dades de producció i de consum d'energia a Catalunya durant els darrers anys, així com les corresponents emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). No es mostren dades tan detallades com les del SICCC per a no repetir conceptes i perquè la influència de la forta crisi econòmica dels anys objecte d'aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA (TICCC) en totes les dades és tan forta que costa veure amb claredat quines millores són causades per les mesures correctores empreses i quines són conseqüència de la crisi. Tot i això, es comparen les previsions amb la realitat, així com la correspondència entre les mesures adoptades i les que la Unió Europea (UE) recomana, sense perdre mai de vista l'enorme influència que l'ús de l'energia té en les emissions de GEH, ja que representen almenys el 75 % del total.

A conseqüència de les comparacions que abans hem esmentat, s'analitzen les mesures que cal implementar els propers anys per a alinear Catalunya amb les polítiques energètiques i de reducció d'emissions de la UE que són, d'altra banda, les més avançades en el context mundial actual. Per reforçar la importància d'aquestes mesures, les comparem també amb la posició dels centres de referència dels Estats Units (EUA) que coincideixen plenament amb les que proposem en aquest capítol.

Hi destaquen, en primer lloc, la necessitat d'una millora sensible de l'eficiència energètica que passa per mesures tecnològiques i per la gestió de la demanda. Aquesta solament podrà ser eficaç si es duen a terme les tasques de sensibilització neces-

sàries i es dota de la informació adequada al consumidor. En segon lloc, cal impulsar la implementació de les energies renovables que, a més de millores específiques en els mateixos sistemes de producció, requereixen avenços importants en les xarxes de distribució i en la capacitat d'emmagatzematge d'aquest tipus d'energia, ja que cal garantir el subministrament amb la màxima qualitat i amb continuïtat, i les energies renovables tenen la característica que, en general, la producció és discontinua. També cal disminuir el pes dels hidrocarburs com a combustibles d'automoció, tot i que l'ús del gas generaria menys contaminació. El fet que aquest TERCER INFORME ja té un capítol dedicat al transport, fa que s'esmenti sense entrar-hi a fons.

Aquestes implementacions cal que siguin graduals i amb objectius clars per a evitar, tant els buits causats per decisions accelerades, els quals poden fer que hi hagi rebutjos no previstos, com ara els endarreriments provocats per un excés de prudència. En aquest sentit, es recomana iniciar des d'ara ja el debat sobre el futur de les nostres centrals nuclears.

Per a poder portar a terme totes aquestes mesures, calen, almenys, tres coses: que el Govern disposi de la capacitat legislativa i normativa suficient, que s'habilitin recursos públics i privats que puguin donar lloc a una indústria de l'energia i, com a element essencial, que s'impulsi la recerca i la innovació en les línies que es creguin fonamentals per a assolir els objectius marcats, línies que no han d'estar gaire lluny de les que són objecte de l'atenció dels països punters en recerca i innovació.

Paraules clau

eficiència energètica, emmagatzematge d'energia, energies renovables, gestió de la demanda, recerca, carboni zero

14.1. Introducció

Fins fa poc, el món occidental ha usat sense reserves totes les fonts d'energia de les quals disposava sense parar atenció a les conseqüències d'aquest tipus d'ús. En aquest context, a mesura que augmenta l'activitat econòmica, ho fa també la necessitat de disposar d'energia suficient i de qualitat. D'una banda, la incidència del cost de l'energia en els costos totals de producció en països que han d'importar els combustibles que s'han emprat fins ara (malgrat l'abaratiment actual dels hidrocarburs), la necessitat que els països els consums dels quals estan molt per sota dels previsible (l'Índia, per exemple) pugin disposar de l'energia necessària i, més important, la influència de les emissions de GEH en el canvi climàtic, han obligat a reflexionar i a constatar que no es podia seguir per aquest camí i menys si es té present que l'energia és responsable de més de tres quartes parts de les emissions de GEH al món, com ha posat de manifest el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) i ha recollit el Pla Estratègic de Tecnologia de l'Energia (SET) europeu. Les dades de les emissions causades per activitats de combustió contingudes al *Cinquè informe de progrés a Catalunya sobre els objectius de Kyoto* de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic així ho confirmen.

En aquest context, el qual es troba reforçat pels acords de descarbonització establerts al COP21, és important veure com evoluciona l'ús de l'energia a Catalunya i com es comporten, a conseqüència, les emissions de GEH, comparar les dades amb les previsions fetes per a assolir els objectius marcats per la UE per als estats membres i treure'n conseqüències.

Aquest seguiment és més important en un país com Catalunya, on la producció d'energia primària amb mitjans propis és molt minsa segons les estadístiques de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), encara que es consideri com a tal l'energia nuclear, el combustible de la qual també s'ha d'importar. Això vol dir que, a més de les consideracions relatives al canvi climàtic, tenen importància les econòmiques derivades dels preus dels hidrocarburs que, encara que en moments determinats baixin de manera notable (com és el cas en el moment en què s'està redactant aquest

capítol), sempre representen un pagament important a l'exterior que afecta la competitivitat de les empreses catalanes.

Tant per a mitigar l'emissió de GEH com per a evitar importacions innecessàries, és evident que les primeres mesures que cal prendre són de millora de l'eficiència i d'estalvi d'energia. Alhora, cal emprendre decididament el camí de la substitució de les fonts convencionals d'energia per les renovables que, a més de no generar GEH, o de generar-ne menys, no requereixen recórrer a l'exterior. El capítol mostra com aquesta és la política d'Europa i, també, la que pregonen institucions importants dels Estats Units (EUA), malgrat que en aquest país s'obtenen hidrocarburs per fracturació hidràulica amb èxit comercial.

Dos sectors que són grans consumidors d'energia són el transport i la indústria, els quals tenen capítol propi al TICCC. Per aquest motiu, en aquest capítol, tot i que se'ls tindrà presents, no seran objecte d'una atenció especial.

Per acabar aquesta introducció, es fa un breu repàs a uns conceptes bàsics que permeten entendre on es poden fer canvis o en quins aspectes es pot estalviar. Energia primària és la que s'extreu de la natura, i la que necessitem per al consum o es produeix a Catalunya o s'importa, encara que ja hem dit que majorment s'importa. Una part d'aquesta energia es transforma per facilitar-ne l'ús (per exemple, per a produir electricitat), amb les consegüents pèrdues de transformació (que depenen de la manera com es produeix aquesta electricitat, però que, de mitjana, cal situar per sobre del 25 %) i per a consum propi. També es produeixen pèrdues en el transport i la distribució, tant de l'energia primària com de la transformada. L'energia disponible per al consum final, la qual anomenem *energia final*, és la primària (menys la que s'ha emprat per a transformar), més la transformada, menys les pèrdues pels consums del sector energètic i els usos no energètics (molt poc significatius) d'alguns combustibles (hidrocarburs). De mitjana, actualment l'energia final no supera el 70 % de la primària. El SICCC dedica una gran atenció a aquest aspecte de les pèrdues, i per això no cal insistir-hi.

Finalment, cal dir que es fan moltes propostes tecnològiques, però que no totes es podran dur a terme, de manera que caldrà tenir present, a l'hora d'implementar-les, quines es posaran en funcionament i com serà el procés d'implementació en funció dels preus, les possibilitats, la seguretat del servei, els impactes en el territori, etcètera.

S'ha seguit emprant la tep (tona equivalent de petroli) com a unitat de mesurament per a donar continuïtat a l'elecció feta al SICCC.

14.2. Evolució del consum d'energia a Catalunya

Dissortadament, no es disposa de dades exhaustives i completes del consum d'energia posteriors a l'any 2009. Nogensmenys, se'n poden treure conclusions, ja que els pocs canvis que s'han produït a causa de la crisi i de les disposicions legislatives que penalitzen la incorporació de les energies renovables fan que hagin variat poc els percentatges i, a més, es disposa de dades relatives al consum elèctric i al de carburants, els quals són molt significatius.

14.2.1. Consum d'energia primària i final

Si es comparen les dades del 2007 amb les del 2009, ja es veu l'efecte de la crisi. Seria massa optimista atribuir-ho a les mesures d'estalvi que hi poden haver influït, encara que en un grau més baix. Efectivament, el consum d'energia primària el 2007 va ser de 26.840 ktep, mentre que el 2009 va baixar a 24.297,3 ktep. Els consums d'energia finals van ser de 16.173 ktep i 14.547,7 ktep, respectivament. Tots dos anys presenten una diferència entre el consum d'energia primària i el d'energia final d'un 40 %, dada que dona una idea pel que fa als consums propis, a les pèrdues en el transport i a les ineficiències de les conversions en electricitat.

Un altre fet rellevant és la poca participació de les energies renovables, les quals passen dels 743 ktep el 2007 a 993,4 ktep el 2009.

En el consum final del 2009 ja no hi ha participació del carbó. Hi participen els productes petrolífers amb 7.176,9 ktep (un 49,3 %), l'energia elèctrica amb 3.886,7 ktep (26,7 %), el gas natural amb 3.074,7 ktep (21,1 %), les energies renovables amb 313 ktep (2,3 %) i altres amb un 0,5 %.

Per sectors, el transport consumeix 5.959,3 ktep (41 %), la indústria 3.915,5 ktep (26,9 %), el sector domèstic 2.370,6 ktep (16,3 %), els serveis 1.792,9 ktep (12,3 %) i el sector primari 509,4 ktep (3,5 %).

14.2.2. Consum d'electricitat i carburants d'automoció

La figura 14.1 i la figura 14.2 mostren, respectivament, l'evolució de la demanda d'energia elèctrica en barres de central acumulada dels darrers dotze mesos en gigawatts hora (GW h) i l'evolució del consum de carburants d'automoció acumulat dels darrers dotze mesos en kilotejs (ktep). S'observa un descens important a partir del 2011, el qual es recupera en el consum de carburants d'automoció a partir de mitjan 2013, recuperació que en l'electricitat no es produeix fins al 2015 per l'increment del consum al sector industrial. Cal preveure que totes dues tendències es mantindran.

14.2.3. Evolució de la potència elèctrica instal·lada

Per veure el pes de les energies renovables en relació amb l'electricitat, convé veure com han evolucionat les potències convencionals instal·lada i renovable en un marc d'excedència de potència instal·lada.

La taula 14.1, extreta del full mensual dels principals indicadors de l'energia a Catalunya corresponent al mes de març del 2015, publicat per l'ICAEN, presenta la evolució de les dades reals entre el 2009 i el 2015, així com les previsions del PECAC (Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020) per a l'any 2015 i el 2020. L'augment absolut de potència instal·lada és pràcticament el mateix en energies no renovables i en renovables, tot i que, lògicament, el percentatge de les darreres és molt superior. És important constatar l'abandonament definitiu de les centrals de carbó amb el tancament de la mina de Cercs (Berguedà), fet que permetrà descartar qualsevol temptació d'ús d'aquest combustible no gens net en un moment en què el preu baixa notablement a causa de les vendes dels EUA, que tenen excedents ara que obtenen hidrocarburs per fracturació hidràulica. També és notable el descens de potència instal·lada en centrals de fuel i gasoil a causa del tancament de la central de Sant Adrià (Barcelonès). La potència instal·lada en cen-

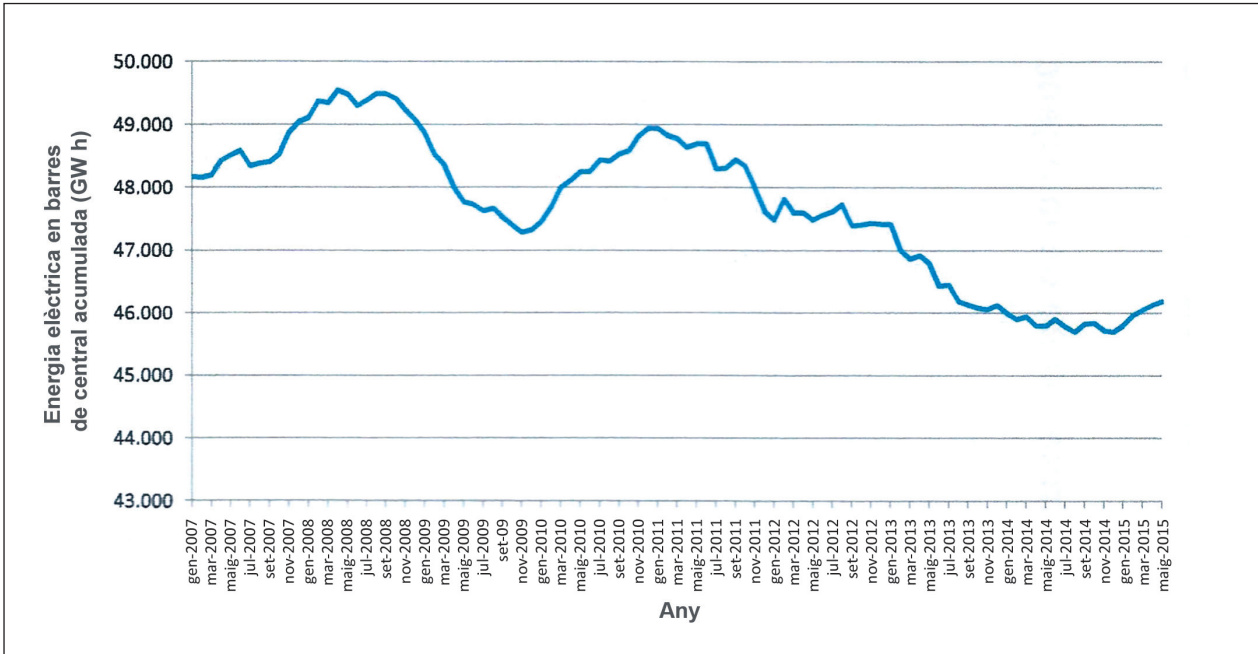


FIGURA 14.1. Evolució de la demanda d'energia elèctrica en barres de central acumulada dels darrers dotze mesos (GW h) (ICAEN).

trals de cycle combinat ha augmentat molt i s'ha assolit el màxim previst. La disminució del consum d'electricitat ha afectat molt directament la disminució d'hores de funcionament d'aquestes centrals. Es mantenen les centrals nuclears, les quals seran objecte d'atenció en un apartat posterior.

En el capítol de les energies renovables destaca l'augment de la potència instal·lada en energia eò-

lica terrestre, tot i que no s'ha assolit la que preveu el PECAC, amb una diferència de gairebé 500 MW. Tampoc s'ha fet cap instal·lació marina, tot i que estaven previstos 70 MW. L'abandonament del Projecte Zèfir per manca de finançament n'és la causa principal, i probablement això dificultarà arribar als 570 MW el 2020. També hi ha dèficits en l'energia fotovoltaica, la qual, tot i haver instal·lat 100 MW, es queda a gairebé 70 MW de les previsions. En total,

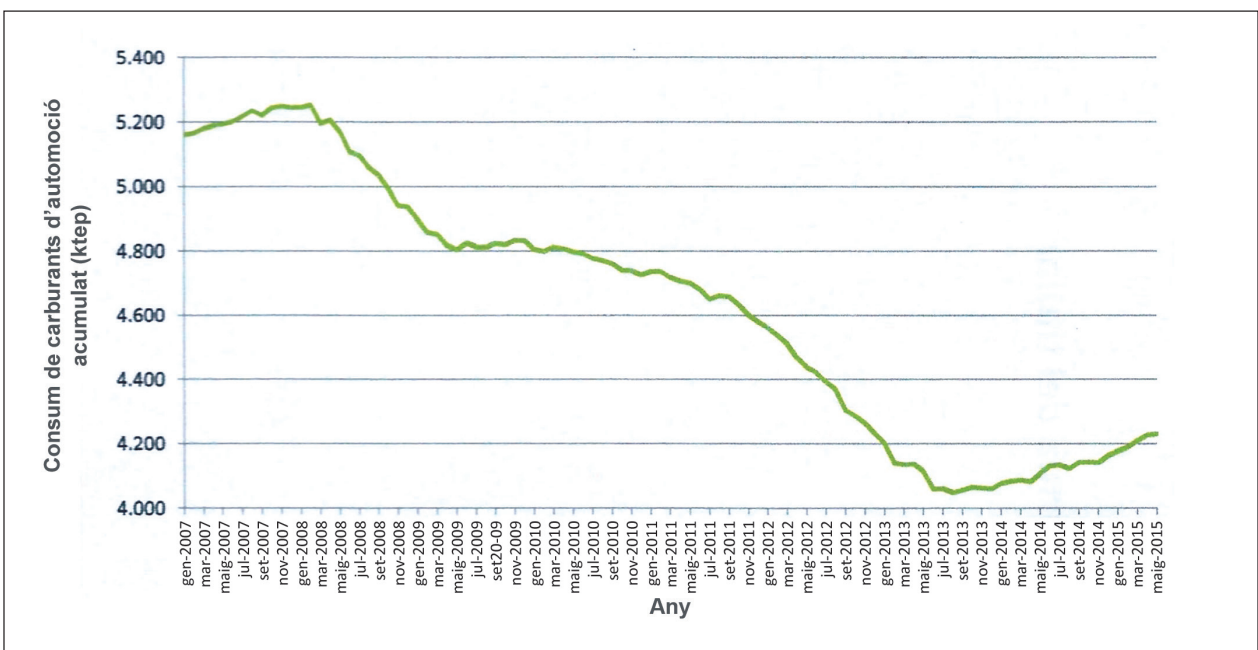


FIGURA 14.2. Evolució del consum de carburants d'automoció acumulat dels darrers mesos (ktep) (ICAEN).

dels 4.724,1 MW de potència elèctrica renovable previstos, s'han instal·lat 4.026,3 MW. L'esforç que el PECAC preveia per als darrers cinc anys del Pla era molt important. Caldrà, doncs, dedicar-hi encara més atenció.

14.3. Evolució de les emissions de GEH en el processament de l'energia

Catalunya s'ha compromès a assumir la part de responsabilitat que li correspon per decisió de la Unió Europea (UE) pel que fa a la reducció de l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle progressivament fins al 2020 i a continuar amb nous objectius per als anys següents.

Per això, el Govern va aprovar el 9 d'octubre del 2012 el Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2012-2020, per tal de contribuir al compliment en la part proporcional que li correspon de l'objectiu establert pel Protocol de Kyoto per a

l'Estat espanyol i, a la vegada, estar preparat per a incorporar els acords europeus per a la reducció dels gasos amb efecte d'hivernacle per al període 2013-2020.

14.3.1. Període d'aplicació del Protocol de Kyoto (2008-2012)

El *Cinquè informe de progrés a Catalunya sobre els objectius de Kyoto*, de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, publicat el novembre del 2014, del qual s'han extret les dades que es presenten en aquest apartat, mostra les emissions estructurades en les set categories emprades pel Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (GIECC, IPCC en anglès). L'informe conclou i demostra que Catalunya ha complert amb escriure la part de limitació de l'increment de les emissions establerta pel protocol a l'Estat espanyol. Interessa remarcar alguna de les dades de l'informe.

TAULA 14.1. Potència elèctrica instal·lada (MW)

	Dades reals		PECAC (2012-2015)	
	2009	Març 2015	2015	2020
Energies no renovables	8.096,4	9.115,9	9.006,3	9.384,4
Central de carbó	160,0	0,0	0,0	0,0
Centrals de fuel-gas i gasoil	1.232,8	529,6	520,0	520,0
Cicles combinats	2.459,9	4.159,9	4.159,9	4.159,9
Cogeneració (no renovable)	923,4	1.105,5	1.007,4	1.385,2
Altres no renovables	173,4	174,1	172,1	172,4
Nuclear	3.146,9	3.146,9	3.146,9	3.146,9
Energies renovables	3.094,9	4.026,3	4.724,1	9.199,2
Hidràulica	2.360,8	2.366,2	2.367,0	2.438,8
en règim ordinari	2.088,4	2.088,4	2.088,4	2.088,4
en règim especial, aïllades i amb contracte privat	272,4	277,8	278,6	350,4
RSU	44,4	46,2	44,4	44,4
Biogàs	40,5	56,6	69,3	141,6
Biomassa forestal i agrícola	0,5	4,5	49,2	160,8
Eòlica	481,5	1.262,0	1.808,7	5.153,6
terrestre	481,5	1.262,0	1.738,7	4.583,6
marina	0,0	0,0	70,0	570,0
Fotovoltaica	167,2	266,5	333,0	1.007,5
Solar termoelèctrica	0,0	24,3	52,5	252,5
Total	11.191,3	13.142,2	13.730,4	18.583,6

L'any 2005 va ser l'any en què les emissions de GEH van arribar al valor màxim, i a partir d'aquesta data es manifesta una disminució any rere any. Aquesta davallada és clara a partir del moment en què s'entra en la crisi econòmica de la qual sembla que, amb penes i treballs, estem sortint. Per això, cal fugir dels optimismes que portarien a pensar que les reduccions van ser degudes a les mesures que es van prendre; ja que, malgrat que han ajudat, cal no abaixar la guàrdia. Aquesta precaució és clarament necessària si es parla de l'energia, ja que el seu processament és el gran productor de GEH.

La taula número 14.2 presenta l'inventari d'emissions de GEH de Catalunya l'any 2012 en xifres que tenen l'expressió gràfica en la figura 14.3.

El processament de l'energia comprèn les emissions causades per activitats de combustió (sector energètic, industrial, transport, residencial i serveis) i emissions fugitives dels combustibles. Els processos industrials recullen les emissions de procés, no energètiques i de no-combustió. L'ús de dissolvents i d'altres productes agrupa les emissions per producció i consum de dissolvents orgànics i l'ús de gasos fluorats, N_2O o NH_3 . L'agricultura

TAULA 14.2. Inventari d'emissions de GEH de Catalunya. Any 2012 (Oficina Catalana del Canvi Climàtic)

Emissions de GEH. Any 2012 (milers de tones)							
Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Total
Processament de l'energia	31.883	434	313	0	0	0	32.631
Processos industrials	2.310	22	23	1.193	0	39	3.589
Ús de dissolvents i d'altres productes	148	0	79	0	0	0	227
Agricultura	0	2.381	1.726	0	0	0	4.107
Canvis de l'ús del sòl i silvicultura	0	0	0	0	0	0	0
Tractament i eliminació de residus	1	2.378	207	0	0	0	2.586
Altres	0	0	0	0	0	0	0
Total anual	34.342	5.216	2.348	1.193	0	39	43.139
Variació respecte al 2011							-4 %

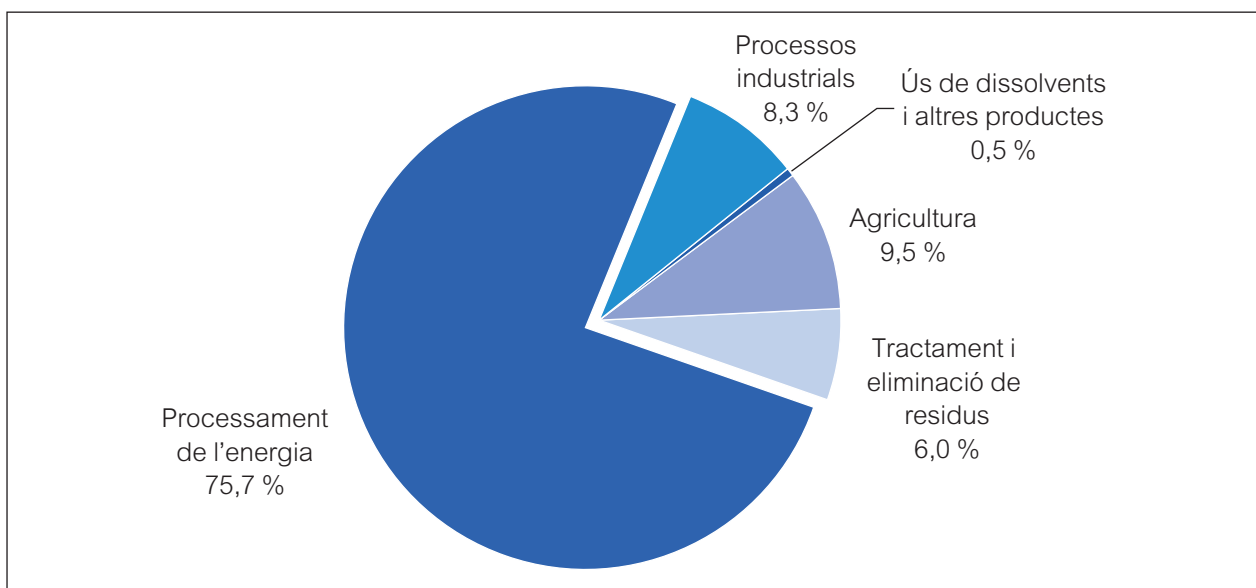


FIGURA 14.3. Distribució de les emissions de GEH a Catalunya per sectors, any 2012 (Oficina Catalana del Canvi Climàtic).

i la ramaderia ho fan amb les emissions relacionades directament o indirectament amb aquestes activitats, i el tractament i l'eliminació de residus amb les emissions dels processos de tractament i l'eliminació dels residus sòlids i del tractament d'aigües residuals. Els altres dos grups considerats per l'IPCC (canvis d'ús de sòl i silvicultura i altres) es calculen en l'àmbit estatal, i per això no es consideren ni a la taula ni al gràfic.

És evident que el processament de l'energia és l'activitat que més col·labora en l'emissió de GEH (més del 75 %) i d'aquí la importància de dedicar a aquest sector l'esforç necessari per a avançar cap a una energia neta, tot i que, en conjunt, les emissions de l'any 2012 se situen solament un 18 % per sobre dels valors del 1990 i que l'any 2012 van disminuir prop del 4 % en relació amb les del 2011. Cal no perdre de vista que una recuperació econòmica, per petita que sigui, representarà, tot i que es millori l'eficiència energètica, més consum i, per tant, més emissions si no s'assoleixen els objectius d'intensitat energètica previstos en el Pla de l'Energia i el Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020. Aquest és un indicador de l'eficiència energètica d'una economia: es calcula com la relació entre el consum energètic en tep i el producte interior brut (PIB) en euros d'un territori. La previsió del Pla és millorar la intensitat energètica final un 1,82 % anual i la primària un 1,72 % anual del 2012 (la intensitat final de la qual

va ser de 103 tep/M€ de l'any 2000) al 2020 (quan s'espera estar a 87 tep/M€), i la tendència a la baixa ha de continuar.

És important veure la manera com es distribueixen les emissions causades per activitats de combustió entre diferents sectors. La figura 14.4 ho mostra per a l'any 2012, any en què encara no s'ha produït l'augment d'activitat industrial que ja s'observa el 2014 i, encara més, el 2015. Els percentatges poden canviar, però no d'una manera significativa.

A la figura s'observa la gran contribució del transport. El canvi cap a nous models logístics, nous mitjans de transport i nous combustibles és prioritari. El vehicle elèctric ha de passar de ser una esperança amb un ús clarament minoritari a ser una realitat amb un ús massiu. El gas, que és més net, ha de substituir els hidrocarburs líquids, cal incorporar el biogàs, etc. El transport té un capítol específic dins d'aquest INFORME.

També cal tenir present el valor significatiu de les emissions dels sectors residencial i de serveis, els quals són àmbits on es poden implementar importants mesures d'eficiència energètica amb més facilitat i per als que la UE ha dictat directives específiques. Pel que fa a les emissions de les 169 instal·lacions sotmeses a la Directiva a Catalunya l'any 2012 (sectors regulats pel règim de comerç) es van reduir un 7 % respecte a l'any 2011. A més,

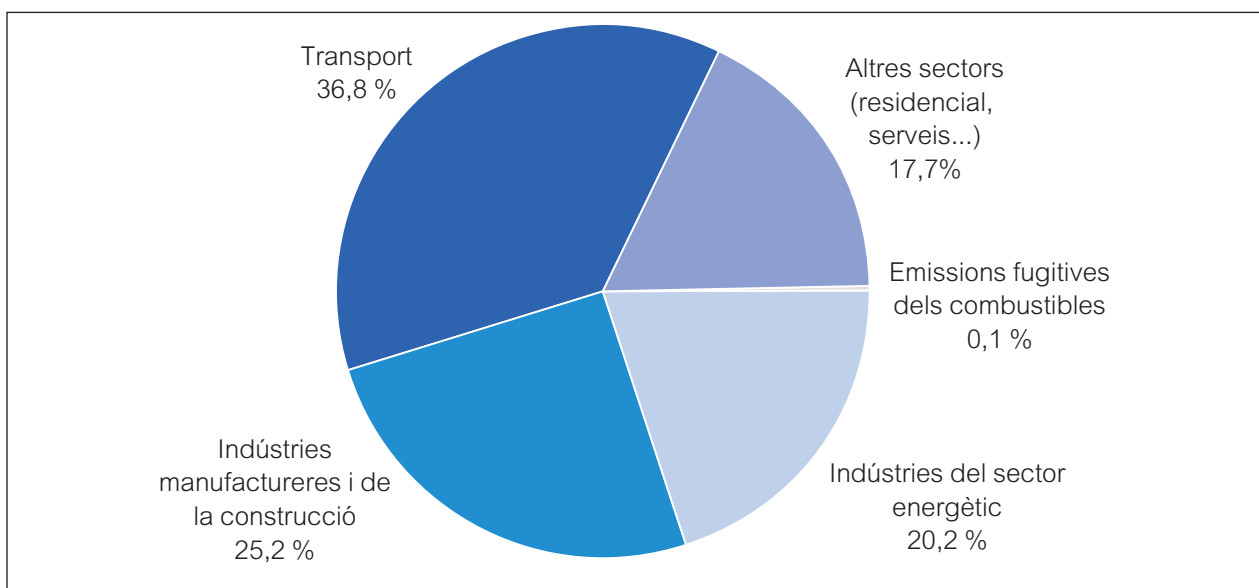


FIGURA 14.4. Distribució de les emissions de GEH provinents d'activitats de combustió a Catalunya pel sector del processament de l'energia, any 2012 (Oficina Catalana del Canvi Climàtic).

tots els sectors regulats emeten menys emissions que drets d'emissió tenen assignats pel Pla Nacional d'Assignació 2008-2012.

La figura 14.5 mostra l'evolució per sectors de les emissions de GEH verificades de les instal·lacions sotmeses a la Directiva a Catalunya entre els anys 2005, primer any d'aplicació de la Directiva de comerç de drets d'emissió (Directiva 2003/87/CE), i 2012, darrer any en què s'assignaven drets d'emissió gratuïts i que permetien augmentar sensiblement les emissions.

Als sectors pròpiament del món de l'energia, la progressiva migració del model de generació elèctrica cap a un ús més elevat de les energies renovables (encara clarament insuficient), la millora de l'eficiència energètica (també millorable) i la reducció dels últims anys de la demanda elèctrica han contribuït a la caiguda de les emissions en el sector de la generació elèctrica.

Les instal·lacions de combustió i de cogeneració han augmentat constantment les emissions des del 2005, però l'any 2012 van caure un 6 %, probablement a causa dels canvis en la legislació estatal

que van fer les cogeneracions menys rendibles, ja que el preu de l'electricitat excedent que s'envia a la xarxa va variar. També han disminuït les emissions de les refineries.

14.3.2. Emissions els anys 2013 i 2014

No es disposa encara de dades de l'IPCC per als anys posteriors al 2012, ja que cal afegir les emissions de la Directiva (són les de les activitats que requereixen una declaració anual d'emissions) i les difuses. L'any 2012, de les 43,14 Mt CO₂ equiv. totals emeses a Catalunya, el 34 % corresponen a les emissions de les instal·lacions sotmeses a la Directiva i el 66 % restant són emissions en els sectors difusos. Amb aquesta dada present, a continuació es fa referència solament als sectors regulats pel règim de comerç (emissions segons la Directiva). Abans, però, cal constatar que durant el període 2005-2012 també hi ha hagut una disminució de les emissions difuses com mostra la taula 14.3. Destaca la disminució del sector transport (inclou l'aviació civil domèstica, el transport per carretera, per ferrocarril, el marítim nacional i d'altres, excepte la maquinària agrícola, la de la silvicultura i la de la flota pesquera, que s'inclouen a «altres emissions de transport»). Cal esperar que

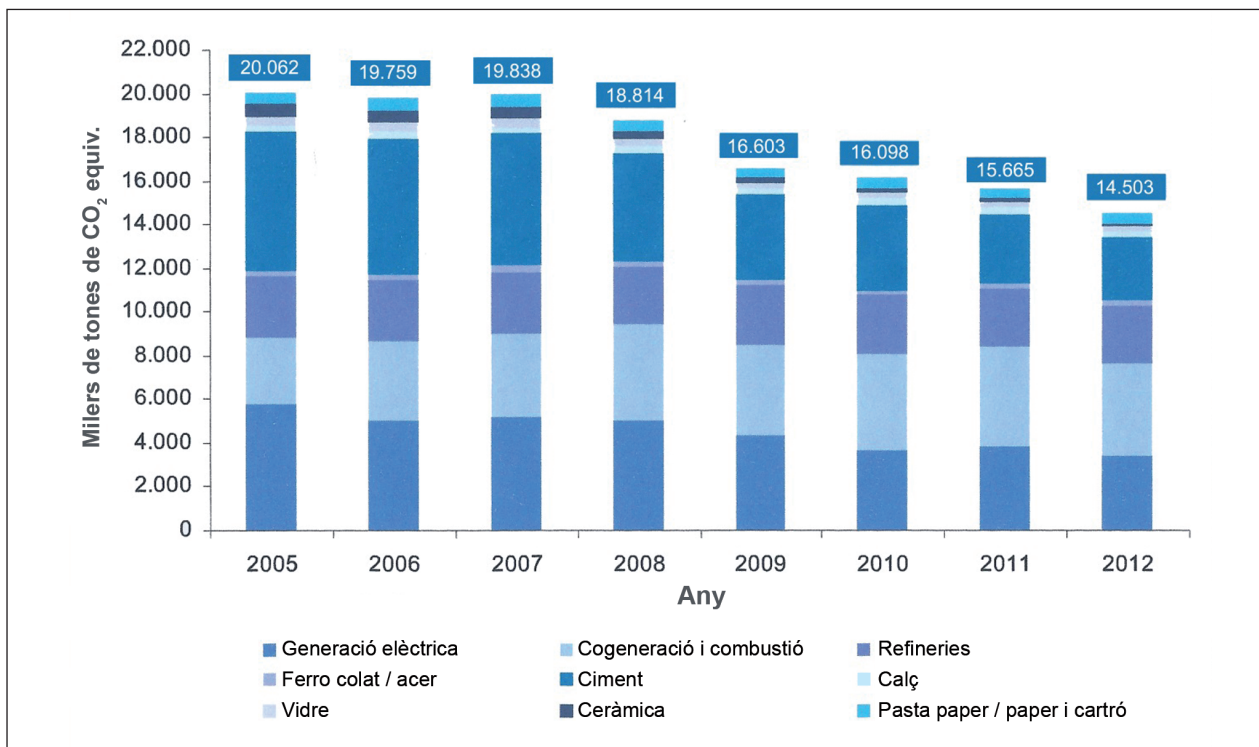


FIGURA 14.5. Evolució per sectors de les emissions de GEH verificades de les instal·lacions sotmeses a directiva a Catalunya, entre els anys 2005 i 2012 (Oficina Catalana del Canvi Climàtic).

la tendència cap a la disminució es confirmi quan es facin les avaluacions corresponents als darrers anys, tot i que l'augment de l'activitat segurament repercutirà en diferents sectors i d'una manera especial en el del transport.

L'any 2013 es va iniciar el tercer període (2013-2020) amb nous criteris pel que fa a l'assignació d'emissions. Durant aquest període, el sector de la generació elèctrica i de les instal·lacions de combustió no reben drets per assignació gratuïta, la qual cosa ha provocat que malgrat que han disminuït les emissions en relació amb el 2012, tant globals com per sectors, en lloc de generar diferències positives entre les assignacions i les emissions, les diferències són negatives. Això vol dir que cal comprar drets d'emissió que, encara que actualment representen costos baixos, cal esperar que augmentin considerablement com una mesura de pressió per a la reducció d'emissions, tal com es va posar de manifest en la jornada que s'esmenta a continuació.

Les dades que segueixen han estat validades pel Departament de Territori i Sostenibilitat, a través de la Direcció General de Qualitat Ambiental a partir dels informes verificats de les instal·lacions incloses en la Llei que regula el règim de comerç de drets d'emissió de GEH i presentades per Assumpta Farran, directora general de Qualitat Ambiental, el 13 de maig del 2015 amb el títol «10 anys

de comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle a la Unió Europea».

La figura 14.6 mostra l'evolució de les emissions de la Directiva agrupades en tres sectors. Tot i que el 2013 baixen en relació amb el 2012 en quasi un 10 %, el 2014 es produeix una petita pujada, una mica per sobre del 0,5 %. Tot i que és petita, cal observar que coincideix amb una represa de l'activitat industrial que, trencant la tendència dels darrers anys, crea més emissions que la producció d'electricitat i la combustió junts. Cal dir que a la disminució de la generació d'electricitat també ha contribuït que el baix preu del carbó d'importació, el qual està associat al baix preu de la tona de CO₂, ha provocat la deslocalització de la generació elèctrica a comunitats generadores amb centrals tèrmiques de carbó i el tancament o la disminució de la producció de les centrals de cycle combinat i de les cogeneracions catalanes. Per a no portar a error, cal recordar que les emissions importants causades per la combustió d'hidrocarburs, com ara les que es deuen al transport, no estan incloses en la Directiva.

Malgrat que aquests valors poden semblar baixos si es comparen amb els del període 2005-2012, el fet d'haver entrat en una fase en què no hi ha cessió gratuïta de drets d'emissió per a tots els sectors, fa que se'n hagin d'adquirir. El 2013 els valors de les adquisicions van ser més baixos,

TAULA 14.3. Evolució per sectors de les emissions dels sectors difusos a Catalunya (Oficina Catalana del Canvi Climàtic)

Emissions de CO ₂ (milers de tones)								
Sector	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sector industrial no Directiva	7.910	5.433	5.648	4.767	3.458	3.849	3.295	3.826
Combustió en sector residencial, serveis i agricultura	4.955	5.663	5.191	5.275	5.434	6.099	5.102	5.033
Transport	15.066	15.845	16.338	15.173	14.391	13.548	12.864	11.859
Altres emissions de transport	758	786	798	802	787	783	793	795
Emissions fugitives dels combustibles	625	331	251	259	271	220	202	203
Ús de dissolvents	321	341	330	313	286	280	253	227
Agricultura i ramaderia	3.925	3.926	3.975	3.757	3.774	3.894	3.983	4.107
Residus	2.281	2.380	2.429	2.478	2.832	2.643	2.627	2.586
Total emissions difuses	35.842	34.705	34.959	32.824	31.234	31.315	29.118	28.636

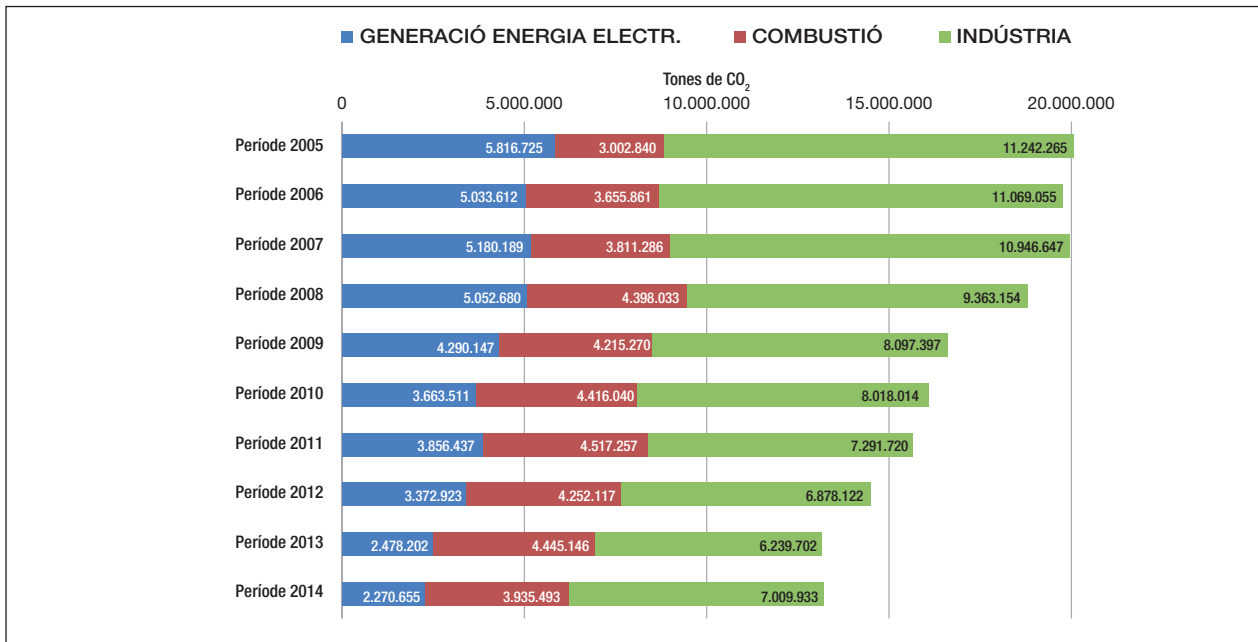


FIGURA 14.6. Evolució de les emissions verificades d'activitats, període 2005-2014 (Direcció General de Qualitat Ambiental).

però el 2014, al sector de la combustió, la diferència entre les emissions notificades (3.935.493 tones) i els drets assignats (2.820.491 tones) va ser de 1.115.002 tones, és a dir, s'ha emès un 40 % més del que estava permès. Al sector de la generació d'energia elèctrica, la situació és encara més dolenta, ja que les emissions notificades són 2.270.655 tones, malgrat que els drets assignats són 26.253 tones amb una diferència de 2.244.402 tones. Al sector indústria les diferències són més petites (488.023 tones) amb unes emissions notificades de 7.009.933 tones i uns drets assignats de 6.521.910 tones.

El valor important de les emissions del sector generació és una raó de pes que obliga a prendre mesures per a canviar el mix energètic de Catalunya, sense negligir els costos que poden implicar les adquisicions de drets quan el mercat del CO₂ tingui valors més alts dels actuals, com es pot preveure si tenim en compte les dades i les previsions que es van aportar durant la jornada que abans s'ha esmentat.

14.4. Accions correctores vigents

14.4.1. Europa

L'any 2007, el Consell Europeu va proposar el programa que es coneix com a 20-20-20 per a

l'any 2020. Aquest programa va ser implementat el 2009 mitjançant el paquet energia i clima i, posteriorment, el 2012, per la Directiva d'eficiència energètica (EED) per a corregir l'endarreriment en el compliment dels objectius en aquest àmbit. Recentment, i amb molt de retard, s'ha transposat parcialment aquesta important Directiva a l'Estat espanyol. La transposició no ha estat satisfactòria, ja que no garanteix el compliment dels objectius que l'EED planteja. Una vegada més, la legislació de l'Estat i els objectius del canvi necessari no coincideixen o, el que és més dolent, es contraposen.

Cal recordar que aquest programa preveu per al 2020 un 20 % de reducció de les emissions a Europa si es comparen amb les del 1990, un 20 % de participació de les energies renovables en el mix energètic europeu i un 20 % d'estalvi en el consum d'energia primària si es compara amb el consum previsible sense prendre mesures d'eficiència energètica.

L'Agència Europea de Medi Ambient (EEA), amb el suport dels centres agrupats en l'European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), fa un seguiment anual de l'evolució dels diferents estats d'Europa en relació amb cadascun dels tres objectius i el publica en un informe anomenat *Trends and projections in*

Europe (EEA, 2014). A l'últim, que va ser publicat l'any 2014, s'analitzen, per a cada estat, les emissions del 2013 i la projecció amb vista al 2020, si s'ha assolit una reducció suficient del consum d'energia primària i si el mix energètic del 2011-2012 és suficientment bo si es compara amb les planificacions. El resultat per a l'Estat espanyol és bo pel que fa a la reducció del consum (segurament la crisi econòmica hi té molt a veure), és acceptable en el mix energètic i és dolent en el capítol d'emissions. A l'informe no hi ha dades de Catalunya, però si es comparen les nostres dades amb les d'Espanya, es pot constatar una situació més bona a les emissions i un mix energètic amb una participació de les energies renovables més baixa, fet causat principalment per la participació més baixa de l'energia eòlica.

Amb l'objectiu de disposar durant els anys cinquanta d'aquest segle d'una energia segura, competitiva i sostenible, la Comissió Europea va proposar, i el Consell va aprovar el 23 d'octubre del 2014, una proposta en què, a més d'un nou sistema de governança, s'incorporen nous objectius per al 2030 amb la vista posada en l'obtenció d'una reducció del 80 % al 95 % en l'emissió de GEH l'any 2050 en relació amb el 1990.

Els objectius per al 2030 són d'un mínim del 40 % de reducció de les emissions de GEH respecte del 1990 (un 43 % de reducció si es compara amb el 2005 en els sectors de la Directiva i un 30 % si es compara amb el 2005 en la resta), un 27 % d'energies renovables en el mix energètic i un 27 % com a objectiu d'eficiència energètica (subjecte a revisió el 2020). Són objectius ambiciosos, però assolibles.

14.4.2. Catalunya

A Catalunya s'han emprès diverses actuacions des del punt de vista normatiu, tant des de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) com des de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, entre altres institucions.

Val a dir que, com que no es disposa de les eines legislatives adequades, estem molt limitats, perquè mesures d'àmbit estatal com ara les contingudes en el Reial decret llei 9/2013, del 12 de juliol (recollit a la Llei 24/2013, del 26 de desembre, del sector elèctric), que, entre altres aspectes, estableix un

nou règim retributiu per a les instal·lacions de generació d'energia renovable, cogeneració i residus, o en el Reial decret 900/2015, d'autoconsum elèctric, poden comprometre les planificacions fetes localment.

Entre totes les actuacions, cal destacar el Pla d'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020 (PECAC 2012-2020) perquè engloba els tres objectius de la UE per al 2020 i prepara per assolir els nous reptes del 2030. Ha estat elaborat pels dos departaments afectats: Empresa i Ocupació, i Territori i Sostenibilitat; amb què es visualitza la relació important entre energia i canvi climàtic. El Pla no inclou altres aspectes del canvi climàtic, com ara l'emissió de GEH no vinculades a l'energia, l'anomenat *efecte embornal*, etc., que han de ser tractats en el Pla de Mitigació i Estratègia d'Adaptació Ambiental 2013-2020.

El PECAC té presents tres horitzons: el de curt termini, fins a l'any 2015; el de mitjà, fins al 2020; i el llarg, fins al 2030 (Prospectiva Energètica de Catalunya 2030 - PROENCAT 2030), i s'ha elaborat comparant l'escenari base, de comportament tendencial, amb l'anomenat *escenari intensiu en energies renovables* (IER).

Els objectius són assolir els indicats per la UE per al 2020 (i augmentar, també, la participació de les energies renovables en el consum energètic del sector transport fins al 10 % l'any 2020) i agafar l'empenta necessària per a fer-ho també amb els del 2030. A més dels objectius qualitius i de polítiques ambiental i energètica que conté el Pla, n'hi ha de quantitius, que són els que han de servir per a avaluar si s'està en el bon camí o si calen esforços suplementaris.

14.4.2.1. Objectius quantitius del PECAC 2020

El Pla dona els valors reals dels anys 2005, 2007 i 2009 perquè d'aquests anys es disposen d'estadístiques tant d'energia primària com de producció elèctrica i de consum final. Com a punt intermedi, dona les previsions de l'any 2015 i, finalment, les dades previstes per al 2020.

Per a l'any 2015 es preveu un consum d'energia final de 14.478,2 ktep, dels quals 10.439,1 ktep

procedeixen directament de combustibles i 4.039,1 ktep d'energia elèctrica. Per sectors, el primari representa un 3,7 %, els serveis un 12,6 %, el transport un 39,1 %, la indústria un 27,6 % i el sector domèstic el 17,0 %.

L'energia final prevista per al 2020 és de 14.651,6 ktep, dels quals 10.183,6 ktep procedeixen de combustibles i 4.468,0 d'electricitat. Per sectors, els percentatges són 3,8 %, 13,0 %, 37,1 %, 30,1 % i 16 %, respectivament.

Si tenim present que el consum final de l'escenari base pujaria a 18.078,9 ktep, veiem que l'any 2020 es produiria un estalvi del 19 % en energia final. Si considerem els estalvis que es preveuen en consums propis, pèrdues per transport i distribució d'energia elèctrica i gas natural i en la generació d'energia elèctrica, el percentatge de reducció d'energia primària arribaria al 20,2 %.

Si de l'estalvi d'energia passem a la participació de les fonts d'energia renovables en el consum brut d'energia primària, les previsions del PECAC 2020 són les que es recullen a la taula 14.4. La figura 14.7 i la figura 14.8 mostren la reducció de CO₂ equiv. i la de la combustió de combustibles fòssils. A la primera, la línia de color blau cel representa la reducció total d'emissions de CO₂ equiv., la vermella la reducció d'emissions

de CO₂ equiv. dels sectors difusos, i la blau marí les que estan subjectes al comerç dels drets d'emissió. A la segona es pot verificar que la reducció del consum de combustibles fòssils entre l'any 2007 i el 2020 és de gairebé 4.000 ktep, amb una reducció del 19 %, percentatge que augmenta en el consum de combustibles fòssils si no tenim en compte els usos no energètics, ja que l'estalvi és pràcticament el mateix en un consum més baix.

14.4.2.2. Comentaris al PECAC 2020

La falta de dades en relació amb el consum d'energia durant els darrers anys fa que encara no es puguin analitzar les dades corresponents al 2015, excepte pel que fa a la producció d'electricitat. A l'apartat 14.2.3, s'han fet comparacions relatives a la potència instal·lada i s'han constatat dèficits en les energies renovables. Si, a més, i tal com mostra la taula 14.4, entre el 2015 i el 2020 la producció bruta de renovables s'ha de doblar, queda clar que cal fer un esforç suplementari.

També és interessant constatar que l'any 2012, darrer any amb dades de producció amb energies renovables, les renovables van produir 7.167,8 GW h (o 616,3 ktep), mentre que la producció de les no renovables va ser de 38.552,0 GW h (o 3.315 ktep). És a dir, les energies renovables van col·laborar amb un 15,7 % de la producció total.

TAULA 14.4. Participació de les fonts d'energia renovable sobre el consum brut d'energia final (ktep)

	2007	2009	2015	2020
Producció bruta de les energies renovables	379,0	516,7	962,9	1.932,8
Consum bombament	43,7	31,9	68,8	68,8
Electricitat renovable	348,5	494,3	914,7	1.884,6
Combustibles renovables	172,8	331,3	773,7	1.124,8
Total renovables	521,3	825,6	1.688,4	3.009,4
Total renovables corregit (Directiva)	523,0	827,9	1.693,0	3.017,0
Combustibles, consum final	11.864,2	10.661,1	10.438,8	10.183,9
Electricitat, consum final	4.065,4	3.886,7	4.039,2	4.468,1
Consum de bloc de les centrals elèctriques	149,5	134,8	139,7	144,0
Pèrdues transport i distribució d'energia elèctrica	317,7	291,3	294,7	294,9
Consum «brut» d'energia final	16.396,8	14.973,9	14.912,4	15.090,9
Consum «brut» d'energia final corregit (Directiva)	16.396,8	14.951,2	14.887,4	15.018,6
Pes de les renovables sobre consum «brut» final	3,2 %	5,5 %	11,4 %	20,1 %

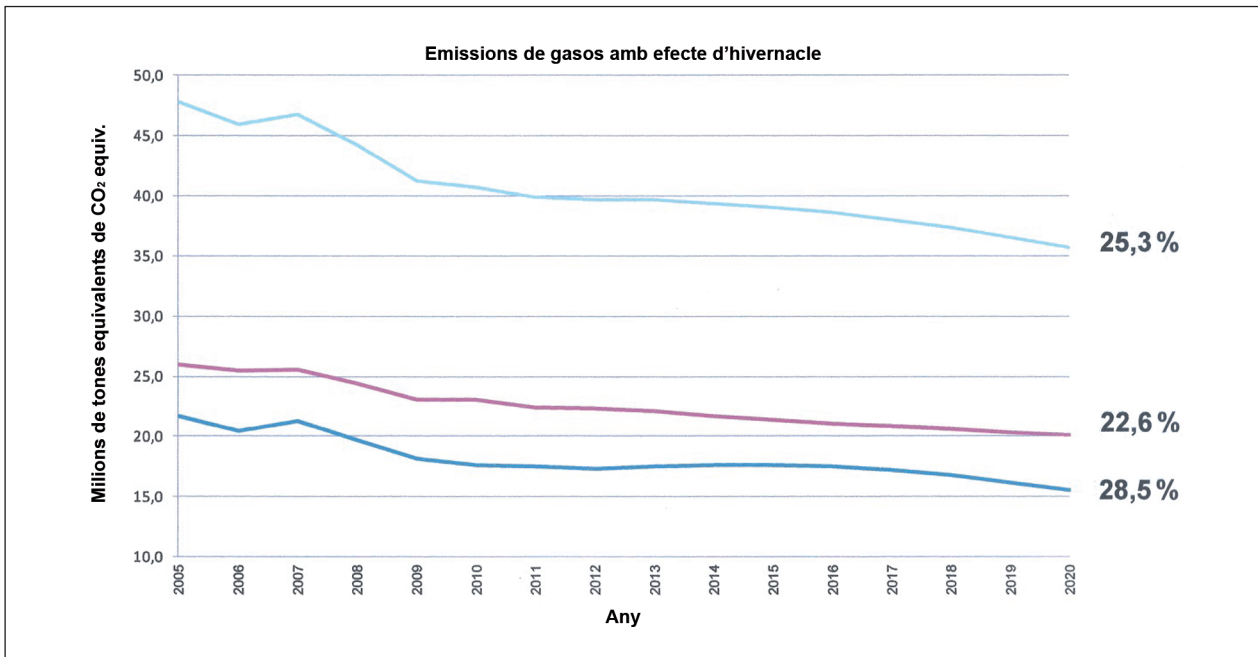


FIGURA 14.7. (ICAE, PECAC 2012-2020).

D'aquesta producció, 3.670,2 GW h corresponen a l'energia hidràulica, la potència instal·lada de la qual no ha variat des del 2012; 2.681,8 GW h són eòlics i la potència instal·lada entre el 2012 i el 2015 solament ha augmentat un 1 %, la fotovoltaica va aportar 402,8 GW h i la potència instal·lada ha augmentat un 7 % i el biogàs va contribuir amb 253,7 GW h i la potència instal·lada ha augmentat en un 10 %. Els altres valors són irrellevants. La potència total instal·lada pel que fa a energies re-

novables entre el 2012 i l'estiu del 2015 solament ha augmentat un 1,5 %. Un motiu més per a seguir de molt a prop el PECAC 2020 i, així, garantir-ne el compliment.

Pel que fa als carburants d'automoció, el maig del 2015 el consum dels darrers dotze mesos havia estat de 4.230 ktep, dada que representa un augment del 3 % pel que fa als dotze mesos anteriors. Cal dur a terme els canvis necessaris perquè la

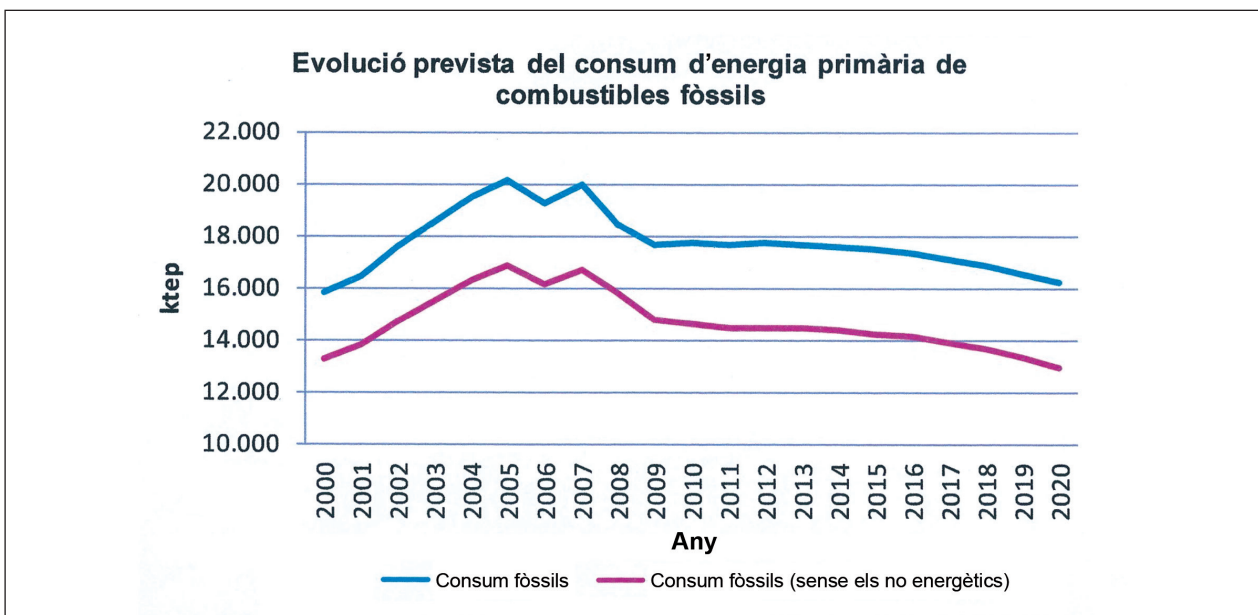


FIGURA 14.8. Evolució prevista del consum d'energia primària de combustibles fòssils (ICAE, PECAC 2012-2020).

represa econòmica no representi l'incompliment de la disminució de l'ús dels hidrocarburs.

També cal evitar que aquesta represa representi un consum total d'energia per sobre de les previsions. En els processos industrials es pot estalviar; però, en general, representen despeses importants. Sense deixar d'insistir-hi, ja que poden ser molt importants, és necessari posar l'accent en els sectors (domèstic i serveis) en què es poden obtenir estalvis més significants amb inversions més baixes. El compliment de la Directiva europea sobre eficiència energètica a l'edificació és indispensable.

14.5. Vers una energia neta

Cal avançar vers una energia neta i prendre decisions que vagin més enllà de fer petits retocs al sistema de producció i d'ús actuals. Els documents als quals es fa referència a continuació, tant dels EUA com d'Europa ho confirmen. (La coincidència dels autors pel que fa a les afirmacions que es fan en aquests capítols ha fet que les frases traduïdes literalment siguin tractades com a text normal.)

14.5.1. Una visió des dels EUA

És important saber quina és la posició d'un país com els Estats Units d'Amèrica, el qual marca tendències tecnològiques i també polítiques, pel que fa al futur de l'energia. La influència que tenen els centres tecnològics i de recerca, molt relacionats amb el món empresarial, en les decisions governamentals, fa que ens fixem en l'opinió d'aquests centres.

En un llibre publicat a finals del 2014, *Game changers. Energy on the move*, editat per George P. Schultz, de la Institució Hoover de la Universitat Stanford, i Robert C. Armstrong, del MIT, es recull el punt de vista d'aquestes dues prestigioses institucions i també d'altres que van ser convidades a participar-hi.

És important constatar què es diu en quatre dels capítols del recull dedicats a l'energia solar fotovoltaica, a les xarxes i l'emmagatzematge d'energia, als vehicles elèctrics i a la il·luminació amb LED, perquè les conclusions s'adiuen totalment amb els objectius de la UE i, en conseqüència, són totalment aplicables a Catalunya.

Es posa en relleu la rapidesa amb què disminueix el cost de l'energia solar i es prediu que en un futur no gaire llunyà es podrà esperar un factor 3 de reducció complementària.

La xarxa elèctrica del futur ha de permetre una explotació segura que pugui afrontar incerteses tant pel que fa a la producció com a la demanda. Ha d'integrar generació renovable i distribuïda i haurà d'emmagatzemar l'energia, en gran escala i en diferents punts, mitjançant cèl·lules de combustible, bateries o altres sistemes. Els avenços en l'emmagatzematge vindran de tres cercles: el de nous materials fàcils de produir, el de l'arquitectura de l'element d'emmagatzematge i el de la facilitat de fabricació i escalatge. Sense oblidar que caldrà disposar d'una instrumentació que permeti prendre decisions distribuïdes.

De tota manera, el més important és que, en un país que disposa de reserves d'hidrocarburs, es constata que cal continuar fent un gran esforç pel que fa a la recerca en energia, ja que la clau és seguir innovant i pensar en termes de canvi de paradigma de les tecnologies, perquè sense aquest pensament cap endavant hi ha un risc d'estancament i de no ser capaços d'assolir els reptes que tenim al davant; reptes com el del canvi climàtic, els quals demanen una actuació urgent per a assolir un nou model energètic. Per això, cal col·laborar amb la indústria i estimular els recercadors joves. El mot *revolució* és molt dur, però és genuïnament aplicable avui dia al camp de l'energia.

14.5.2. La visió d'Europa

Si passem dels Estats Units a la Unió Europea, veiem que recentment s'han publicat diferents documents importants, dels quals destaquen tres de relatius a l'energia. Són el *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank*, que porta el suggeridor subtítol *A framework strategy for a resilient Energy Union with a forward-looking Climate Change policy*, i els dos relatius al *SET Plan: Strategic energy technology (SET) Plan*, que porta el subtítol *Towards an integrated roadmap: Research and innovation challenges and needs of the EU energy*

system, i Towards an integrated strategic energy technology (SET) Plan: Accelerating the European energy system transformation.

Tots indiquen tant el camí que cal que Europa segueixi d'una manera genèrica com els àmbits en què cal intensificar la recerca. D'una banda, no són diferents dels que s'exposen en el recull dels professors Armstrong i Schultz, i de l'altra, com a part d'Europa que són, cal que siguin objecte d'atenció i formin part del programa de futur de Catalunya en l'àmbit de l'energia.

El primer dels dos documents esmentats parla de la necessitat d'una unió energètica, i diu que l'objectiu, amb una política del clima ambiciosa en el nucli, és donar als consumidors (individus i organitzacions) energia segura, sostenible, competitiva i accessible, i que, per a arribar-hi, cal dur a terme una transformació fonamental del sistema energètic europeu. Cal que ens encaminem vers una economia sostenible, baixa en emissions de diòxid de carboni, respectuosa amb el medi ambient i duradora en el temps.

Cal disposar d'empreses fortes, innovadores i competitives que desenvolupin els productes industrials i les tecnologies necessaris per a millorar l'eficiència i subministrar tecnologies de baixes emissions de GEH dins i fora d'Europa, amb mà d'obra qualificada que permeti bastir i gestionar el sistema energètic del futur.

El document dóna un pes important als ciutadans, ja que aquests es fan responsables de la transició energètica, es beneficien de les noves tecnologies per a la reducció dels costos, participen activament en el mercat i se senten protegits si, per alguna raó, no poden atendre els compromisos. Cal sortir d'una economia manada pels combustibles fòssils, en què l'energia es fonamenta en l'oferta centralitzada i en què encara són vigents tecnologies i sistemes de gestió que cal superar. Cal donar poder als consumidors facilitant-los la informació, la capacitat d'elecció i la flexibilitat per a poder gestionar la demanda com es fa amb l'oferta.

Com es veu, aquests objectius es fonamenten en la necessitat de tenir una energia lliure de carboni. Si, a més, es té present la factura que ha de pagar

Europa (i la de Catalunya, que és proporcionalment més important perquè importa gairebé la totalitat de l'energia que consumeix) a causa de la falta de recursos propis (la UE importa un 53 % de l'energia a un cost que ha arribat als 400 miliards anuals, més d'un miliard diari), aquests objectius es converteixen en urgències.

Per tot plegat, el document marca una estratègia amb cinc dimensions que es reforcen mútuament i que estan fortament interrelacionades:

- Seguretat, solidaritat i confiança en l'àmbit de l'energia.
- Mercat europeu totalment integrat.
- Eficiència energètica que contribueixi a la moderació de la demanda.
- Economia lliure de carboni.
- Recerca, innovació i competitivitat.

Quan es parla del *SET Plan*, cal fer referència als dos documents esmentats: el primer és el document bàsic; el segon incorpora un pla d'acció. El document bàsic defineix quatre reptes del sistema energètic en el camp de la recerca i la innovació que han de permetre que assolim els tres objectius bàsics de la política de l'energia i el clima: seguretat de subministrament, competitivitat i sostenibilitat, d'acord amb el que estableixen altres documents a mitjà i a llarg termini com ara el Full de ruta d'energia de la UE i d'altres. Els quatre desafiaments són:

- Consumidors actius (públics, particulars i empreses grans i petites) en el centre del sistema energètic. Cal motivar els consumidors amb informació i amb la transformació del mercat, i activar-los amb tecnologies, productes i serveis innovadors.
- Gestió de la demanda amb millora de l'eficiència en tot el sistema. Cal millorar l'eficiència als edificis, en la climatització, en la indústria i en els serveis. Aquest desafiament ha de comportar el desenvolupament d'un mercat de sistemes, tecnologies, productes i serveis innovadors més eficients.
- Optimització dels sistemes. Cal modernitzar les xarxes elèctriques europees establint sinergies entre diferents subministradors. Cal augmentar i posar a l'abast nous sistemes d'emmagatzematge i de conversió i donar al sistema més flexibilitat, capacitat de respondre a la deman-

da, seguretat i costos inferiors. Per això, cal desenvolupar sistemes holístics d'optimització a àmbit local i urbà.

- Subministrament segur, a un cost adequat, net i competitiu. Cal fer competitives les energies renovables i les tecnologies avançades de climatització i posar en marxa sistemes de descarbonatació en aquells casos en què encara s'emprin combustibles fòssils. Cal millorar l'explotació segura dels sistemes nuclears i desenvolupar nous sistemes innovadors de reactors i solucions sostenibles per a la gestió de materials físsils i de residus radioactius (tant per a la fissió com per a la fusió). També cal desenvolupar biocombustibles sostenibles, cèl·lules de combustible i d'hidrogen, així com altres combustibles per al mix energètic en el sector de transport.

Aquests quatre reptes es complementen amb un de cinquè que comprèn tots aquells que hi estan relacionats, com ara el fet de disposar de sistemes de finançament innovadors, l'educació i la promoció socioeconòmica que faciliti la implementació de les mesures damunt esmentades. Per a cadascun dels reptes, el document presenta un conjunt de mesures com a accions concretes de R+I.

Una vegada han estat definits els objectius i les propostes, la UE constata que l'esforç que s'ha fet des que el primer *SET Plan* va veure la llum fins ara no s'ha traduït en tots els resultats esperats, i de l'anàlisi de les causes sorgeixen un seguit de propostes que es recullen en el segon document.

En línia amb una decisió que afecta tota la política de la UE, es fa referència a tota la cadena que va des de la recerca bàsica fins al mercat, tant en qüestions relatives al finançament com a les de regulació.

Per a prendre decisions de continuïtat o de modificació de projectes, cal mesurar els progressos incorporant indicadors clau de rendiment (KPI) a l'informe anual de l'estat de la Unió Energètica. Per a assegurar una governança més correcta i una interacció més efectiva amb els estats membres, empreses i altres, els interessats s'adaptin a les estructures del *SET Plan*.

Finalment, s'identifiquen deu accions per a la recerca i la innovació, després de valorar les necessitats del sistema energètic, la importància que té transformar-lo i la de generar un creixement econòmic amb la consegüent creació de llocs de treball. És important tenir presents aquestes accions perquè el finançament de la UE s'obtindrà, preferentment, per a projectes que hi estiguin relacionats.

Són les següents: desenvolupar tecnologies renovables altament eficients i integrar-les en el sistema energètic de la UE; reduir els costos de les energies clau; crear tecnologies i serveis per a llars que donin solucions intel·ligents als consumidors; augmentar la resiliència, la seguretat i la intel·ligència del sistema energètic (emmagatzematge, entre moltes altres qüestions); desenvolupar nous materials i tecnologies i incorporar-les al mercat per a solucions d'eficiència energètica als edificis; continuar els esforços per a fer la indústria de la UE menys intensiva en energia i més competitiva; ser competitiu en el sector de les bateries per a impulsar la mobilitat electrònica (*e-mobility*), impulsar la generació de combustibles renovables per a donar solucions al transport sostenible, la captura i l'emmagatzematge de carboni i el manteniment d'un alt grau de seguretat dels reactors nuclears i dels cicles de combustible associats durant l'operació i el desmantellament alhora que s'augmenta l'eficiència.

14.5.3. El futur de l'energia i de la mitigació del canvi climàtic a Catalunya

Hem vist en els paràgrafs anteriors que l'energia i el medi ambient, i també l'energia i el canvi climàtic, estan íntimament lligats; per tant, parlar d'energia, canviar la manera d'emprar-la i de produir-la és indispensable si volem contribuir a fer que l'empremta humana no assoleixi valors inacceptables.

S'ha constatat, també, que s'han fet passos en la bona direcció, malgrat no disposar de totes les eines necessàries; però també hem vist que, en bona part, la disminució del consum d'energia i la reducció de les emissions és conseqüència de la crisi econòmica i, per tant, hi ha el risc que si —com és desitjable— es produeix una millora en l'economia, hi hagi un augment de les emissions per sobre dels valors que la política de la UE ens

atorga per a mantenir l'escalfament del planeta dins de valors controlables.

Afortunadament, la idea que en l'energia no n'hi ha prou de posar pedaços al model actual i que el que cal és un canvi radical té fonaments no solament en qüestions de canvi climàtic, sinó també de sostenibilitat econòmica dels països que no disposen de les fonts d'energia actualment més emprades. Entre aquests països es troben els de tota la UE i, d'una manera encara més intensa, Catalunya. Aquest fet ajuda, sense cap mena de dubte, a prendre decisions i mesures importants i amb la celeritat necessària.

Hi ha unanimitat a l'hora de considerar que aquestes mesures passen per:

- Millorar l'eficiència en l'ús de l'energia per estalviar-la tant com es pugui.
- Reduir la dependència dels combustibles fòssils, en especial en la mobilitat,
- Incorporar decididament les energies renovables en el mix energètic.

Per a fer-ho, cal impulsar accions que tenen a veure amb la tecnologia, però també amb altres aspectes que, d'una manera genèrica, es poden qualificar de «socials». És la conseqüència del fet que s'està plantejant un canvi de model. Tots dos aspectes estan interrelacionats, però a continuació es desglossen per guanyar claredat.

14.5.3.1. *Mesures no tecnològiques*

Són necessàries, almenys, les següents:

- 1) Catalunya ha de disposar de la capacitat de decisió suficient per a poder impulsar un nou model energètic. Actualment, solament es pot fer desenvolupament legislatiu lligat a la legislació de l'Estat que no solament no afavoreix, sinó que, fins i tot, dificulta la transició cap a aquest nou model. Per tant, cal legislar d'acord amb les polítiques de la UE, però amb la llibertat que ha de portar a disposar de la Llei elèctrica i de les que facin falta per a complir (i, si cal, millorar) els objectius de la UE. De fet, el Projecte de Llei de canvi climàtic es realitza en aquest sentit. Alhora, aquesta possibilitat ha de permetre resoldre d'una vegada qüestions sensibles com ara la pobresa energètica. És necessària la transposició de les directives

europnees amb més celeritat que l'actual i impulsar-ne el compliment.

- 2) Cal situar la política energètica en un lloc preminent a l'hora de prendre decisions de qualsevol tipus; és a dir, cal adoptar decisions que afecten la governança.
- 3) Caldrà habilitar recursos que serveixin de catalitzador d'inversions privades, totalment necessàries per a fer una transició vers un nou model energètic. Col·laboracions entre el sector públic i el privat poden ser una de les solucions, però requereixen que el Govern de Catalunya tingui competències legislatives per a ordenar-les convenientment.
- 4) No es pot fer un canvi important com el que es proposa sense la participació de tota la societat. Perquè el canvi tingui sentit, és necessari que, d'una banda, hi hagi la informació suficient i, de l'altra, es doni formació. Formació i informació clara i independent són indispensables perquè es produeixi un canvi de paradigma en el món de l'energia. Per posar un exemple: cal que tothom tingui clar que un edifici emblemàtic és el que consumeix menys energia i, alhora, proporciona als qui l'habiten el confort necessari i suficient.
- 5) Com s'ha constatat en els paràgrafs anteriors, l'energia nuclear encara contribueix en bona part a la producció de l'electricitat que es consumeix a Catalunya; si no s'adopten mesures molt dràstiques i difícils de portar a terme, quan s'acabi el cicle de vida de quaranta anys, fet que s'esdevindrà poc després de l'any 2020, encara no es podran substituir per energies renovables.

Cal iniciar amb temps suficient un debat com més ampli millor per a decidir què cal fer quan aquestes centrals nuclears arribin als quaranta anys de funcionament. Caldrà tenir present tant els avantatges (com, per exemple, la no emissió de gasos amb efecte d'hivernacle) com els inconvenients (residus, possible perillositat, etc.) i prendre les decisions pertinents d'una manera decidida, siguin les que siguin. No és prudent allargar-los la vida de pocs anys en pocs anys com s'ha fet amb alguna altra central no catalana, perquè, en aquest cas, no es poden implementar les mesures de seguretat complementàries que sí que es poden demanar si s'estableix una

vida útil més llarga que permet demanar inversions importants, ja que la l'amortització es fa en un temps raonable i sense repercussions excessives en el preu de l'energia produïda.

14.5.3.2. *Mesures socials amb suport tecnològic*

Cal passar de la gestió de l'oferta a la gestió de la demanda. Actualment, els consumidors disposen de poca informació que els permeti consumir en aquells moments en què és més convenient que ho faci (i que, com a conseqüència lògica, li ha de sortir més econòmic fer-ho). Es tracta d'aquelles hores en què la producció d'electricitat a preus reduïts és excessiva i un augment de consum no representa haver de posar en servei altres centres de producció que o són més cars o contaminen més. La tarificació per hores vigent a partir de l'1 d'octubre de 2015 implica una petita millora, però solament afecta la tarifa regulada, que està retrocedint i, per tant, no es pot considerar una mesura que pretengui la gestió de la demanda segons quina tarifa horària se li apliqui.

Cal, doncs, que els usuaris disposin de la informació necessària que els permeti actuar adequadament. Per a això fa falta que la tecnologia permeti dur a terme les mesures necessàries i que les xarxes siguin intel·ligents i permetin canvis sobtats tant per la demanda com també per l'oferta, ja que els subministraments no han de procedir necessàriament d'uns pocs generadors, com és el cas actualment.

14.5.3.3. *Mesures tecnològiques*

ESTALVI D'ENERGIA. Durant els darrers anys s'ha produït un estalvi d'energia important, però seria massa optimista pensar que és conseqüència de les mesures que s'han pres per a millorar-ne l'eficiència. La causa fonamental ha estat la crisi econòmica, que ha provocat una disminució de l'activitat i, en conseqüència, una disminució important dels consums tant en la indústria com en el transport.

Dels tres objectius que s'ha marcat la UE per a l'any 2020 (reducció del consum per millora de l'eficiència, incorporació de les energies renovables i disminució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle), és precisament el primer el que és més difícil d'assolir, ja que, amb honroses excepcions, els estats no han transposat amb diligència

les directives europees que hi fan referència, principalment les relatives a estalvis en les edificacions noves i en la rehabilitació, com posa de manifest el document de seguiment anual que ja s'ha esmentat i referenciat.

Falten polítiques decidides i econòmicament atractives en aquest sector. Catalunya hauria de ser un exemple pioner en l'àrea mediterrània, les característiques climàtiques, de llum natural, etc., de la qual no s'aprofiten tant com es podria.

ENERGIES RENOVABLES. En els primers paràgrafs del capítol es constata la poca participació de les energies renovables en el *mix* energètic de Catalunya.

Catalunya havia estat pionera en energia eòlica, amb tecnologia pròpia, i actualment no és líder en la producció d'energia elèctrica per aquest mitjà. També ha decaïgut, per falta de cofinançament, el Projecte Zèfir, el qual havia de permetre trobar solucions pròpies a les instal·lacions eòliques al mar.

Malgrat aquesta pèrdua de lideratge, cal aprofitar el coneixement adquirit amb els parcs ara instal·lats per a créixer amb més rapidesa que fins ara, per tal d'assolir els objectius del PECAC. De les diverses energies renovables, l'eòlica és una tecnologia madura que actualment permet produir electricitat a preus de mercat, condició indispensable per a no estar sotmesos a decisions polítiques que no sempre afavoreixen les energies renovables, com dissortadament s'està corroborant a l'Estat espanyol. El baix preu actual del diner genera oportunitats interessants a curt termini. També ha assolit un alt grau de maduresa l'energia fotovoltaica.

Com en qualsevol altra tecnologia, en un cas i en l'altre es fan estudis de millora. En l'eòlica s'intenta millorar l'aerodinàmica i la resistència a l'erosió de les pales, el rendiment dels generadors, etc. En la fotovoltaica, els treballs que s'estan duent a terme per a millorar l'eficiència de la transformació i per a incorporar noves solucions, com pot ser la tecnologia de capa fina, permeten pensar en un brillant creixement d'aquesta tecnologia en el futur.

Una part important del territori de Catalunya és boscosa. A més, es disposa de residus procedents

de les depuradores d'aigua, els purins són un problema a resoldre i hi ha també, estacionalment, residus procedents de l'agricultura. És necessari gestionar adequadament aquest i altres productes, i una manera òptima de fer-ho ha de ser mitjançant l'obtenció d'altres productes, algun d'energètic, per mètodes com ho poden ser, per exemple, la gasificació en una refinaria de biomassa o d'altres. Això hauria de permetre fer un pas qualitatiu a partir de la situació actual, en què l'aprofitament es fa majorment per combustió, després d'un procés d'assecamment i compactació.

Per a portar a terme aquest canvi radical, cal incorporar nous productes i serveis. Aquest fet ha de significar una oportunitat per als emprenedors locals per a generar el que podem anomenar *una indústria de l'energia*, la qual, sense cap mena de dubte, hauria de contribuir a la necessària reindustrialització de Catalunya; reindustrialització que solament es pot concebre si es fa amb noves tecnologies netes.

Aquesta indústria de l'energia hauria de tenir en compte, també, altres aspectes, com ara els bio-combustibles o la millora de l'eficiència dels motors dels vehicles, el canvi d'hidrocarburs líquids a gasosos o els motors elèctrics, els quals no es tracten en aquest capítol perquè ja n'hi ha un d'específic dedicat al transport.

Un altre aspecte importantíssim per considerar és que, per a fer possible la gestió activa de la demanda, l'emmagatzematge de l'energia, el vehicle elèctric, la generació distribuïda i de procedències diverses (eòlica, fotovoltaica, etc.), cal disposar de xarxes intel·ligents. Una xarxa intel·ligent és aquella que integra d'una manera eficient el comportament i les accions de tots els usuaris connectats, tant si són generadors com consumidors o totes dues coses, per a garantir la qualitat i la seguretat del subministrament de manera econòmicament eficient, sostenible i minimitzant les pèrdues. Això és possible gràcies als avenços en els sistemes de mesurament i en el de les telecomunicacions, els quals permeten mesurar, transmetre, interactuar, anticipar esdeveniments, etc. En les xarxes intel·ligents es posa de manifest la relació íntima entre el sector energètic i el de les telecomunicacions. Cal denunciar que si els comptadors digi-

tals instal·lats solament trameten informació als distribuïdors en lloc de fer-ho també als usuaris, cosa totalment possible, es malmet la possibilitat que aquests participin activament en la gestió de la demanda.

Quan es parla de la seguretat de subministrament, cal tenir present que hi ha energies renovables la producció de les quals depèn de factors meteorològics imprevisibles (presència de vent o de sol, per exemple) i que, per tant, poden ser intermitents. Aquesta característica, cal tenir-la present pel que fa a la configuració tècnica del projecte, alhora que, com hem vist en paràgrafs anteriors, porta a impulsar la recerca de sistemes d'emmagatzematge que garanteixin la seguretat i la qualitat del subministrament en qualsevol circumstància. S'estan fent progressos en diferents direccions: emmagatzematge mecànic, químic, electroquímic, etc. Alguns sistemes es poden considerar ja madurs, com, per exemple, les bateries d'ió liti o, per citar-ne un de més antic, el bombejament en centrals hidràuliques; però els anys vinents perme-tran veure en el mercat quantitat de nous desenvolupaments, bateries de flux, piles de combustible de nova generació, etc. Algunes de les solucions, com ara les que tindran l'hidrogen com a element fonamental, podran ser aplicades intensivament en l'automoció.

14.5.3.4. Recerca

Nous reptes, nous paradigmes en el món de l'energia, la possibilitat de generar una nova indústria de l'energia a Catalunya. Tot podria quedar en paraules si no fem un esforç important per a dotar el país d'uns sistemes de recerca i d'innovació en energia adequats, i això requereix dedicar-hi recursos.

Les capacitats hi són, com s'ha demostrat en altres sectors. Catalunya és coneguda arreu del món pel que fa a la recerca en diferents àmbits, i un d'ells és el de l'energia. No cal insistir en la importància que té per a l'economia d'un país. Quan aquest és deficitari en els sistemes tradicionals que es basen en els hidrocarburs i pels quals ha de pagar una factura excessiva, sembla lògic pensar que qualsevol inversió que permeti alliberar-se de la submissió que representa no disposar de sistemes de producció propis d'un element tan essen-

cial com és l'energia és una inversió lògica i que ha de resultar rendible.

El coneixement hi és, fins i tot també hi ha els laboratoris. Hi ha centres tecnològics (recentment, uns quants s'han agrupat en EURECAT) i enginyeries de molt nivell. Cal millorar la interrelació entre aquests agents i entre ells i les empreses en una col·laboració que seria desitjable que fos publicoprivada per a fer que el coneixement es tradueixi en productes o serveis aplicables al mercat local i que es puguin vendre en un món globalitzat. Queda camí per recórrer en aquest sentit.

Als apartats anteriors s'han anomenat diferents objectes de recerca (xarxes, nous materials per a l'emmagatzematge, biocombustibles, etc.). Cal tenir present que un objecte principal és, a més de tenir energia segura i que aquesta sigui de qualitat, que quan s'obtingui de fonts renovables no s'hagi de recórrer a les subvencions, sinó que els preus siguin de mercat. Hi pot ajudar la incorporació dels costos de les emissions al cost total, tot i que per a fer-ho cal revisar a fons el mercat del CO₂. També cal evitar l'ús de materials estranys que generen problemes geopolítics.

14.6. Conclusions

- 1) No es disposa de dades recents del consum d'energia primària a Catalunya. Les darreres són del 2009. De tota manera, com que les mesures preses per l'Estat espanyol relatives a la compensació de l'electricitat renovable que s'incorpora a la xarxa no n'afavoreixen l'aplicació, els percentatges d'aquest any no difereixen sensiblement dels actuals. La gran participació dels hidrocarburs i la poca participació de les energies renovables que es queden per sota de les previsions del PECAC és rellevant.
- 2) Catalunya ha complert amb escreix les exigències de la part que li correspon per a l'acompliment dels objectius de Kyoto en el període 2005-2012. Nogensmenys, el fet que determinats sectors, entre els quals hi ha la generació d'energia, no tinguin cessió gratuïta de drets d'emissió a partir del 2013 fa que a partir d'aquest any les emissions notificades superin els valors assignats. Això obliga a comprar drets que si bé ara tenen un preu molt baix, lògicament hauran d'augmentar per tal d'estimular la disminució de les emissions.
- 3) El fet que abans s'ha esmentat, juntament amb l'augment de les emissions que es detecta a partir del moment que l'economia sembla que millora (si es compara la situació amb la viscuda durant la crisi dels darrers anys), obliga a plantejar la necessitat de canviar radicalment el mix energètic amb una participació decidida de les energies renovables. Cal tenir present que l'energia participa en més d'un 75 % en la generació de GEH.
- 4) Alhora, es imprescindible impulsar l'estalvi i la millora de l'eficiència energètica. No és fàcil esbrinar l'efecte de les mesures que s'han pres en aquest sentit durant els darrers anys perquè la crisi econòmica, amb la consegüent disminució d'activitat, ha provocat per si sola una disminució important del consum d'energia i, per tant, de les emissions.
- 5) La necessitat de reduir les emissions de GEH fa que fins i tot països com els EUA, que no tenen problemes de subministrament d'hidrocarburs, es plantegin un canvi radical de mix energètic. Empren el terme *revolució energètica*, malgrat la duresa d'aquestes paraules.
- 6) La Unió Europea, que sempre ha estat capdavantera pel que fa a les polítiques de reducció de les emissions, té, a més, el problema que deriva del cost de la importació dels hidrocarburs necessaris per a l'activitat, ja que n'és clarament deficitària. Per això, les polítiques de canvi són encara més radicals. El paquet sobre energia de la UE, els diferents plans SET i els documents que se'ls associen marquen la línia a seguir pels estats membres. Les directives per a l'estalvi d'energia a l'edificació i els deu punts on es posarà més èmfasi a l'hora de decidir inversions són aspectes a tenir molt presents.
- 7) Catalunya és proporcionalment més deficitària que la UE pel que fa a la disponibilitat d'hidrocarburs. L'esforç de canvi que la UE demana, cal fer-lo amb escreix a Catalunya.
- 8) Cal donar un fort impuls a la recerca pel que fa a energies renovables i a l'emmagatzematge d'energia, necessaris per a les xarxes intel·ligents de les quals el país s'ha de dotar. El Pacte Nacional per a la Transició Energètica ha de marcar el camí a seguir en aquest aspecte

i en tot el que fa referència al camí vers un nou paradigma energètic. Representa el posicionament estratègic del Govern, que respon a diverses peticions efectuades al Parlament. La ratificació en seu parlamentària ha de marcar el rumb del país en un àmbit clau com és l'energètic.

14.7. Recomanacions

Des del punt de vista econòmic, tant per a la reducció de la factura energètica com per a disminuir les emissions de GEH i estar alineat amb la política de la UE, cal fer un esforç important per a canviar el mix energètic de Catalunya a la vegada que s'estalvia energia sense posar en qüestió l'activitat econòmica.

- 1) No n'hi ha prou de posar pedaços al sistema existent. Cal un canvi de paradigma. El canvi de mix energètic ha de passar per donar un nou impuls a l'energia eòlica i a la fotovoltaica aprofitant el coneixement actual i el que es derivi de la recerca i innovació que cal seguir fent. Alhora cal seguir de prop qualsevol sistema nou que permeti o pugui permetre, en un termini raonable, l'obtenció d'electricitat a preus de mercat.
- 2) Tampoc no es pot oblidar que una part important del territori és boscós, que es disposa de residus procedents de les depuradores d'aigua, que estacionalment hi ha residus procedents de l'agricultura i que els purins són un problema per resoldre. Tot plegat, s'haurien d'impulsar solucions com ara la gasificació en una refinaria de biomassa.
- 3) Una de les maneres d'estalviar energia és la de millorar l'eficiència dels processos en general. D'una manera particular, en l'edificació hi ha un gran potencial de millora. Catalunya s'hauria de proposar ser un exemple, i pionera a l'àrea mediterrània, d'una construcció eficient des del punt de vista energètic, aprofitant les característiques climàtiques més bé del que s'ha fet fins ara. La qualitat dels arquitectes ho ha de facilitar, de manera que Barcelona hauria de ser la ciutat intel·ligent model de la mediterrània gràcies a l'ús del vehicle elèctric, la qualitat energètica de la il·luminació pública, l'ús de les TIC, la disposició d'illes o d'àrees autosuficients, l'ús de la llum natural, els estalvis de condicionaments d'aire artificials aprofitant corrents favorables, etc. Per assolir-ho, cal que hi hagi una col·laboració entre les administracions i entre aquestes i el sector privat, amb mesures que facilitin i impulsin el canvi de paradigma necessari.
- 4) Cal passar de la gestió actual de l'oferta a la gestió de la demanda. Això requereix la participació de tothom, per a la qual cosa cal formació, informació i disposar de la capacitat de mesurar els paràmetres que han de facilitar aquesta participació. Els aspectes tecnològics no han de representar cap problema. Cal, però, que les administracions duguin a terme una actuació decidida que impedeixi que aspectes polítics dificultin rebre la informació, com passa actualment, alhora que faciliten la formació adequada dels usuaris.
- 5) En un moment de canvi radical com el que es proposa, tot i que sense precipitacions, cal estimular la inversió privada, tant de les empreses actuals del sector com d'una nova indústria de l'energia que ha de sorgir a conseqüència dels avenços que la recerca i la innovació han d'aportar.
- 6) Catalunya ha de tenir la capacitat de decisió suficient per a poder impulsar aquest nou model energètic mitjançant legislació pròpia que permeti complir els compromisos de descarbonització dels quals la política energètica de l'Estat ens allunya. Això permetria transposar les directives europees amb més celeritat i impulsar-ne el compliment.
- 7) Per a evitar problemes i sorpreses cal poder fer el seguiment adequat i més si tenim present que algunes de les decisions necessiten temps per a veure'n els resultats. Per tot plegat, cal disposar de dades que permetin verificar si s'està o no en el camí correcte. Per això cal disposar a temps de les estadístiques necessàries; cal definir quines són i elaborar-les. En particular, és imprescindible tenir la comptabilitat energètica actualitzada i al dia.
- 8) Una vegada el Pacte Nacional per a la Transició Energètica hagi estat aprovat caldrà definir mesures concretes amb la participació de tots els sectors implicats, començant per aquelles que poden tenir un efecte exemplar més clar. Entre aquestes, les d'eficiència energètica a l'edificació o l'autosuficiència energètica en xarxes reduïdes com, per exemple, en un po-

- lígion industrial o en una illa de cases han de tenir un paper especial. Crèdits tous o certes mesures fiscals permetrien fer més atractives les inversions necessàries.
- 9) L'esforç de convertir plans i estratègies de l'Administració, que n'hi ha molts i molt interessants, com el Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica als Edificis i Equipaments de la Generalitat de Catalunya 2015-2017, l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica dels Edificis, l'Estratègia per Promoure l'Aprofitament Energètic de la Biomassa Forestal i Agrícola o el Pla d'Acció d'Eficiència Energètica a la Indústria, etc., en projectes concrets, amb la participació de les parts interessades, ha de ser també un objectiu a assolir.
 - 10) Seria desitjable que féssim un esforç per a incorporar tot el cicle de vida de les diferents solucions possibles perquè les comparacions no tinguin mancances.
 - 11) Si tenim present que l'energia nuclear encara representa un percentatge important de la que es consumeix a Catalunya, cal un debat serè de què cal fer quan s'acabin les autoritzacions actuals de funcionament de les centrals per a evitar decisions provisionals i precipitades de darrera hora.
 - 12) La importància del problema energia /canvi climàtic ha fet que des de diferents instàncies de l'Administració pública s'hagin creat organismes i pres iniciatives que a vegades representen repeticions innecessàries. Per a no malbaratar esforços, cal fer un esforç de concentració.
 - 13) Catalunya no hauria de renunciar a tenir un paper actiu en la cerca de noves solucions energètiques tant en la producció com en la distribució i l'ús. Això requereix donar un fort impuls a la recerca i a la innovació en fotovoltaica, en emmagatzematge d'energia, en la conversió del CO₂ en materials i combustibles, en solucions a partir de l'hidrogen, en xarxes intel·ligents, en nous combustibles, en bateries, etc. Són línies de recerca entre les quals caldrà seleccionar les que tinguin més possibilitats de ser convertides en productes o serveis assumibles per la indústria local. Per això, cal que hi hagi una forta relació entre la recerca, la innovació i l'empresa que pugui donar lloc a una nova indústria de l'energia capaç de competir

en un mercat global per la qualitat i la novetat de les solucions proposades.

- 14) Europa lidera el projecte ITER per a l'aprofitament de l'energia de fusió. El fet que l'oficina de contractació per a la UE del projecte ITER radiqui a Barcelona s'hauria d'aprofitar per a tractar de tenir un lloc com a país en el desenvolupament de la que pot ser una font important d'energia en el futur.

Referències bibliogràfiques

- AGÈNCIA EUROPEA DE MEDI AMBIENT (2015). «Trends and projections in Europe 2014». A: *Tracking progress towards Europe's climate and energy targets for 2020*. Luxemburg: EEA.
- COMISSIÓ EUROPEA (2014). «Strategic Energy Technology (SET) Plan». A: *Towards an integrated roadmap: Research & innovation challenges and needs of the EU energy system*. Brussel·les: Comissió Europea.
- (2015a). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank. A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy*. Brussel·les: Comissió Europea.
 - (2015b). *Towards an integrated strategic energy technology (SET) Plan: Accelerating the European energy system transformation*. Brussel·les: Comissió Europea.
- FARRAN I POCA, A. (2015). «Presentació dades validació d'emissions GEH 2014». A: *Balanc de deu anys del comerç europeu d'emissions CO₂ Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Qualitat Ambiental. <<http://www.slideshare.net/mediambientcat/assumpta-13052015>> [Consulta: 31 març 2016].
- ICAEN = *Institut Català d'Energia* (2009). *Balanc energètic de Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://icaen.gencat.cat/ca/pice_serveis/pice_estadistiques_energetiques/pice_resultats/pice_estadistiques_energetiques_anuals_de_catalunya/pice_balanc_energetic> [Consulta: 31 març 2016].

- (2012). *Pla de l'energia i canvi climàtic de Catalunya 2012-2020* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://icaen.gencat.cat/ca/pice/_institut/PlansProgrames/pice_pecac> [Consulta: 31 març 2016].
 - (2013a). *Balanç energètic de Catalunya* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://icaen.gencat.cat/ca/pice_serveis/pice_estadistiques_energetiques/pice_resultats/pice_estadistiques_energetiques_anuals_de_catalunya/pice_balanc_energia_electrica/> [Consulta: 31 març 2016].
 - (2013b). *Cinquè informe de progrés* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes_i_comunicacio/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Informes_de_progres_Kioto/Cinque-Informe-de-Progres_Final_amb-tapa.pdf> [Consulta: 31 març 2016].
 - (2015). *Full mensual dels principals indicadors de l'energia a Catalunya (ICAEN)* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <http://icaen.gencat.cat/web/.content/03_planificacio_energetica/document_s/arxius/20140817FullMensualIndicadorsEnergia.pdf> [Consulta: 31 març 2016].
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2014). «Catalunya i els objectius de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle». A: *Cinquè informe de progrés* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. <http://www.gencat.cat/mediamb/publicacions/monografies/DCC7_reduc_gasos_efecte_hivernacle_5.pdf> [Consulta: 31 març 2016].
- PARLAMENT EUROPEU (2012). «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE». *Diario Oficial de la Unión Europea*. També disponible en línia a: <<https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>>. [Consulta: 31 març 2016].
- SCHULTZ, G. P.; ARMSTRONG, R. C. (2014). «Game Changers». A: *Energy Initiative*. Stanford: Universitat Stanford University; Massachusetts: MIT.

15 Indústria

Autors

Àlvar Feliu Jofre

Jaume Josa i Pons

Àlvar Feliu Jofre és enginyer de camins, canals i ports per la UPC i màster en gestió gerencial per l'EADA. Ha desenvolupat l'activitat professional en activitats de recerca estratègica i d'assessorament per a entitats públiques i privades, en l'àmbit de la planificació ambiental, la gestió de residus municipals, industrials i hospitalaris, la bioenergia, les infraestructures sostenibles, l'empresa i el medi ambient, el canvi climàtic, la degradació de sòls i la gestió del cicle integral de l'aigua. Ha estat professor associat de la UPC entre el 1997 i el 2009. Actualment és assessor de la Fundació Fòrum Ambiental, membre de la Comissió de Residus i Medi Ambient del Col·legi d'Enginyers de Camins de Catalunya i professor del màster en arquitectura i medi ambient: integració d'energies renovables a l'arquitectura.

Jaume Josa i Pons és doctor en ciències químiques per la Universitat de Barcelona. Va iniciar la carrera professional a Kao Corporation, on va treballar com a científic analista al laboratori de R+D a

Barberà del Vallès (1988-1990). Del 1991 al 2000 va treballar als laboratoris de R+D de Henkel Ibérica, SA, a Montornès del Vallès, com a responsable del desenvolupament de lleixius per a la roba, per a la neteja de superfícies, de ceres per a terres i mobles i d'altres productes de neteja i cura de la llar. L'any 1998 es va traslladar a Pleasanton (CA, EUA) per treballar com a responsable de R+D internacional de productes amb base d'hipoclorit a l'empresa The Clorox Company. Entre el 2001 i el 2009 es va traslladar a la central que Henkel té a la ciutat alemanya de Düsseldorf, com a director de R+D+I de productes per a la neteja i la cura de la llar. També ha atès tres conferències de l'ONU sobre canvi climàtic, a Mèxic el 2010, a Sud-àfrica el 2011 i a Qatar el 2012. Des del 2011 publica un blog sobre protecció del clima al diari Ara (<http://emprenem.ara.cat/canviclimatic>). Des del 2013 és membre del GECCC (Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya) i col·labora amb Leitat Technological Center com a *group leader* de la divisió de productes de gran consum (FMCG).

Sumari

Síntesi	365
15.1. Introducció	366
15.2. Context	366
15.2.1. Indústria manufacturera	366
15.2.2. Emissions directes i indirectes.....	367
15.2.3. Emissions domèstiques	368
15.3. Inventari d'emissions	368
15.4. Mesures de mitigació	370
15.4.1. Com i què.....	370
15.4.1.1. Eficiència energètica	371
15.4.1.2. Eficiència en els materials	371
15.4.1.3. Eficiència en les emissions.....	372
15.4.1.4. Disseny del producte	372
15.4.2. Mitigació en tres sectors industrials d'alt VAB a Catalunya.....	372
15.4.2.1. Indústries de productes alimentaris i de fabricació de begudes (CCAIE10).....	372
15.4.2.2. Indústria de fabricació de productes químics i farmacèutics (CCAIE20)	373
15.4.2.3. Indústria de fabricació de vehicles de motor	374
15.4.3. La mitigació de GEH a la indústria: una reflexió final	374
15.5. Canvi climàtic i gestió de riscos a la indústria.....	375
15.5.1. Productivitat total dels recursos	375
15.5.2. Una indústria que depèn menys de determinats recursos naturals	377
15.5.3. Sinergies amb els problemes ambientals i socioeconòmics de Catalunya.....	377
15.6. Conclusions	378
15.7. Recomanacions	379
Referències bibliogràfiques	381

Síntesi

El capítol s'ha estructurat en quatre apartats principals. L'apartat 15.2 fa una definició precisa de l'àmbit de la indústria manufacturera, dels sectors que la conformen i de les emissions de GEH (gasos amb efecte d'hivernacle) que s'han avaluat. L'apartat 15.3 analitza l'inventari d'emissions de GEH de la indústria a Catalunya, la distribució sectorial i per tipus de gasos, l'origen en els processos industrials i el pes que tenen en el conjunt català. L'apartat 15.4 diagnostica la situació actual del control d'emissions de GEH en els tres sectors industrials que aporten més valor afegit a Catalunya: alimentari, químic i automoció. Així mateix, es dibuixen els eixos d'actuació en què cal incidir per a reduir les emissions en els tres sectors seleccionats. Això obre una porta important a la innovació, mitjançant el redisseny del producte i la consegüent reduc-

ció d'emissions de GEH durant el període en què s'usa. L'apartat 15.5 complementa l'anterior i hi posa l'èmfasi en les sinergies entre la mitigació de les emissions de GEH, l'increment de la productivitat dels recursos a la indústria i la millora dels problemes ambientals i socioeconòmics prioritars a Catalunya. Es destaca que un desenvolupament industrial equilibrat i inclusiu per a assolir els objectius econòmics, socials i ambientals, demana fer tant o més esforç en la productivitat dels recursos (incloent-hi les infraestructures) que merament en la productivitat laboral. Finalment, s'aporten recomanacions per a desenvolupar i coordinar les polítiques implicades i es complementa l'Estratègia Industrial de Catalunya 2014-2020.

Paraules clau

indústria, gasos amb efecte d'hivernacle, eficiència de recursos, economia baixa en carboni, innovació

15.1. Introducció

Aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA s'ha construït, també pel que fa a aquest capítol dedicat a la indústria, sobre la bona base establerta a les dues edicions precedents. A més de recollir dades sobre les emissions en els diferents sectors, s'ha volgut fer una aposta clara per a ressaltar el que s'està fent des del món industrial per a aconseguir la reducció de GEH, no solament en l'àmbit de l'eficiència energètica i el canvi gradual cap a l'ús d'energies renovables, sinó també pel que fa a l'augment en l'eficiència d'ús dels materials.

Segons dades de l'IPCC (Fischedick, 2014), de les emissions globals de GEH, la indústria en produeix gairebé una tercera part, mentre que a Catalunya representen el 25 % (figura 15.5). L'origen d'aquestes emissions és divers. Les fonts principals estan en el processament de materials (naturals, biomassa, minerals, etc.), que esdevenen transformats en productes. Si hi sumem les emissions totals de la producció de ferro i d'acer amb la del ciment, a escala global superem el 40 % de les emissions totals de GEH per la indústria. També són rellevants els sectors de productes químics i d'adobs, la indústria paperera i el processament d'aliments. L'ús d'energia és la primera causa d'aquestes emissions i, per tant, l'increment de l'eficiència energètica és una eina de gran vàlua per a reduir-les. No cal menystenir l'ús de materials (Allwood, 2012), ja que si augmentem l'eficiència en l'ús, també reduïrem les emissions de GEH, sobretot si rebaixem les pèrdues de materials durant la producció o les minves, reutilitzant materials usats o canviant el disseny del producte.

A mesura que els efectes del canvi climàtic es fan més visibles, es fa molt difícil per als que s'anomenen «escèptics» pel que fa al tema continuar negant l'evidència. Fins i tot, el papa Francesc s'ha pronunciat pel que fa a la necessitat de mitigar el canvi climàtic en la recent encíclica *Laudato si'* (Francesc, 2015) sobre la necessitat de cuidar la casa de tots, el nostre planeta Terra. Les males notícies que ens arriben dels impactes que el canvi climàtic ja provoca avui dia no ens poden pas deixar paralizats, ans al contrari, han de ser un motiu per a accelerar la implementació ràpida

(Zaelke, 2014), la qual aportï millores visibles i més rellevants a curt termini, segons els polítics de tot el món.

A Catalunya s'observen iniciatives destacables en l'àmbit de la mitigació en l'àmbit industrial. El Govern de la Generalitat de Catalunya ha estat pioner a implementar programes en aquest sentit, com el Programa d'Acords Voluntaris, i a elaborar i posar en pràctica mesures que planifiquin, promoguin i facilitin a la indústria apostar fort per l'economia verda i per un futur més sostenible i més bo per a tothom, com el projecte de Llei de canvi climàtic. En aquest sentit, l'Acord de París (UNFCCC, 2015) significa un pas històric que, sens dubte, serà un element cabdal de suport i d'actuació per a la indústria a Catalunya.

15.2. Context

El capítol 15 tracta les emissions domèstiques de la indústria manufacturera amb una doble perspectiva:

- Pel que fa a l'inventari d'emissions de GEH, i d'acord amb les directrius de la CMNUCC, es tenen en compte solament les emissions directes.
- Pel que fa a les mesures de mitigació, s'aborden tant les emissions directes com les indirectes.

15.2.1. Indústria manufacturera

La indústria manufacturera integra bàsicament la fabricació de materials com ara metalls, ciment, paper, etc., de components i de productes intermedis, de maquinària i d'equips i de productes per al consum final com ho són els aliments o els tèxtils. S'ha considerat que les coqueries i les instal·lacions de refinació de petroli no formen part de la indústria, sinó que pertanyen al sector energètic (producció i transformació de l'energia), que és objecte d'un altre capítol del TICCC.

L'estructura sectorial de la indústria es presenta a la taula 15.1, segons la classificació catalana d'activitats econòmiques (CCAIE, Idescat, 2009).

En tot el capítol, quan es parla de la «indústria» o la «indústria catalana», sense més especificació, es fa referència a la indústria manufacturera catalana segons la definició de la taula 15.1.

TAULA 15.1. Composició sectorial de la indústria i valor afegit brut (VAB)

CCAEE	Subsector	VAB (2013)	
		M€	%
10	Indústries de productes alimentaris	4.227	18,5
11	Fabricació de begudes		
12	Indústries del tabac		
20	Indústries químiques	2.760	12,1
29	Fabricació de vehicles de motor, remolcs i semiremolcs	2.619	11,5
30	Fabricació d'altres materials de transport		
25	Fabricació de productes metàl·lics, excepte maquinària i equips	2.120	9,3
21	Fabricació de productes farmacèutics	1.979	8,7
28	Fabricació de maquinària i equips	1.363	6,0
13	Indústries tèxtils	1.244	5,5
14	Confecció de peces de vestir		
22	Fabricació de productes de cautxú i matèries plàstiques	1.205	5,3
17	Indústries del paper	854	3,7
27	Fabricació de materials i equips elèctrics	771	3,4
18	Arts gràfiques i reproducció de suports enregistrats	620	2,7
23	Fabricació d'altres productes minerals no metàl·lics (vidre, ciment, ceràmica, etc.)	522	2,3
16	Indústria de la fusta i del suro, excepte mobles; cistelleria i esparteria	484	2,1
31	Fabricació de mobles		
24	Metal·lúrgia; fabricació de productes bàsics de ferro, acer i ferroaliatges	391	1,7
15	Indústria del cuir i del calçat	133	0,6
26	Altres	1.498	6,6
Total		22.790	100

Font: Elaboració pròpia a partir de l'*Informe anual sobre la indústria a Catalunya*, 2014 (Departament d'Empresa i Ocupació, Generalitat de Catalunya).

15.2.2. Emissions directes i indirectes

Les emissions directes (abast 1,¹ vegeu l'apartat 15.4.1) en la indústria tenen dos orígens ben diferenciats:

- Processos de combustió (amb transformació energètica de combustibles sòlids, líquids o gasosos); per exemple, cogeneració amb gas natural o combustió de coc als forns de producció de clínquer.

- Processos de producció (sense transformació energètica); per exemple, la calcinació de la pedra calcària: $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.

Les emissions indirectes (abast 2 i abast 3) deriven tant dels processos com dels productes de la indústria:

- Les emissions associades a les entrades i les sortides dels processos. Aquestes emissions, les generen els proveïdors de béns i serveis a la indústria, per exemple:
 - extractors i transformadors de primeres matèries (abast 3),
 - productors d'electricitat consumida per la indústria (abast 2),
 - tractadors dels residus industrials generats per la indústria (abast 3).
- Les emissions associades a la distribució i l'ús dels productes industrials per al consum inter-

¹ Les emissions de GEH d'una empresa es divideixen en tres nivells o abasts: *abast 1* són les emissions directes (crema de combustibles fòssils: gas, carbó, petroli; transport dels vehicles en propietat i emissions fugitives); *abast 2* són el consum d'electricitat o bé el calor i fred adquirits, i l'*abast 3*, que inclou les d'emissions associades al producte, entre les quals hi ha les associades al transport fins al punt de venda, a l'ús i a l'eliminació o reciclatge.

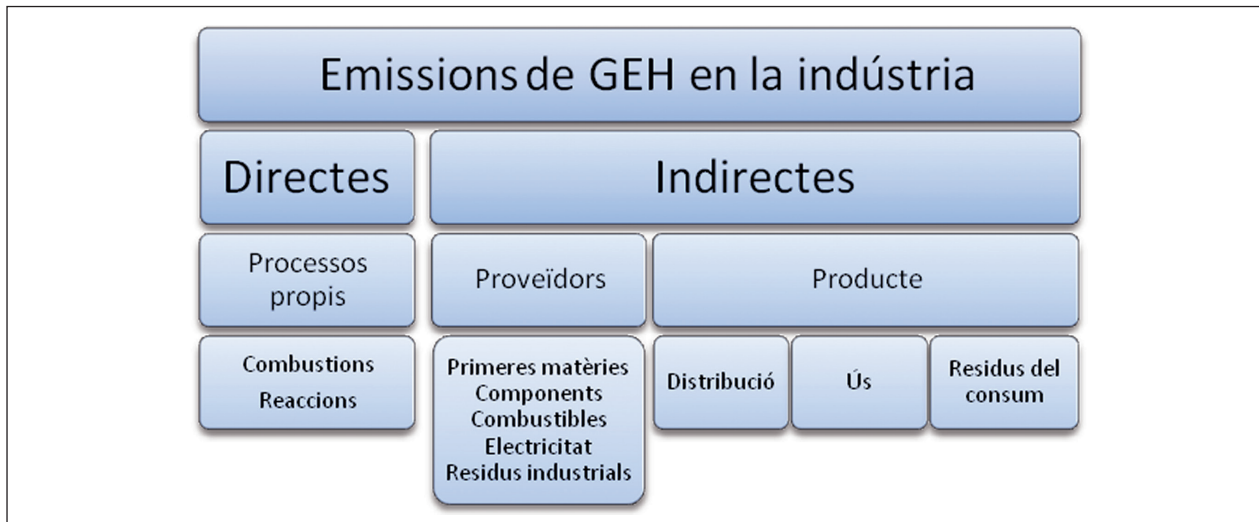


FIGURA 15.1. Emissions de GEH directes i indirectes en la indústria.

medi o final, així com a la gestió dels residus generats pel consum dels productes industrials (abast 3).

La figura 15.1 sintetitza l'estructura de la petjada de carboni de la indústria.

15.2.3. Emissions domèstiques

Les emissions domèstiques són les que estan associades a la producció de la indústria catalana, tant per al mercat intern com per a l'exportació. Per a conèixer quines són les emissions associades al consum de béns industrials a Catalunya, caldria restar de les emissions domèstiques les emissions de la producció exportada i sumar-hi les emissions de la producció importada (figura 15.2).

15.3. Inventari d'emissions

L'any 2012, les emissions directes de la indústria catalana van ser de 10,65 Mt CO₂ equiv., distribuïdes tal com es mostra a la taula 15.2.

El 76 % de les emissions de la indústria estan associades a l'ús energètic en calderes, a la cogeneració i als processos de combustió. Aquestes emissions van assolir un màxim l'any 2005 de prop de 13 Mt CO₂ equiv. Des d'aleshores, s'han reduït pràcticament un 40 %, fins a arribar als 8 Mt CO₂ equiv. de l'any 2012 (vegeu la figura 15.3).

Els processos sense combustió, fonamentalment de descarbonatació, van emetre 2,6 Mt CO₂ equiv., és a dir, el 24 % restant. Més del 60 % d'aquestes emissions correspon a la indústria de producció de clínquer. Les emissions d'aquest sector van assolir un màxim l'any 2005 de 3,9 Mt CO₂ equiv., però van baixar fins a 1,9 Mt CO₂ equiv. l'any 2012, amb una reducció superior al 50 % a conseqüència de la davallada de la construcció (figura 15.4).

Segons el *Cinquè informe de progrés a Catalunya sobre els objectius de Kyoto*, de novembre del

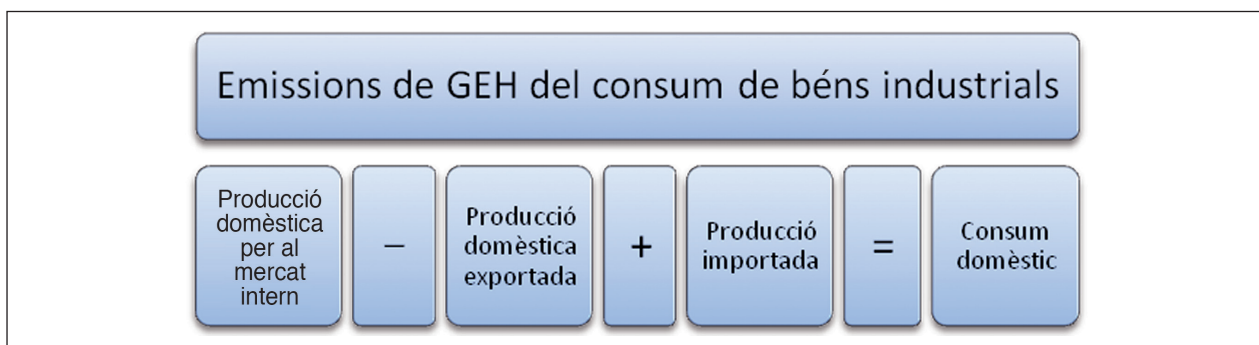


FIGURA 15.2. Relació entre les emissions de GEH de la producció i el consum industrials.

TAULA 15.2. Estimació de les emissions de GEH de la indústria catalana (kt CO₂ equiv.)

Subsector *	Calderes i cogeneració			Processos industrials						Total
	Combustió			Sense combustió						
	CO ₂	Altres	Total	CO ₂	Altres	Total	CO ₂	Altres	Total	
Indústria de l'acer							83		83	
Química orgànica								22	22	
Ciment				1.043	14	1.057	1.899		1.899	
Calç				65	2	67	200		200	
Vidre				245	3	248	2		2	
Ús de dissolvents, pintures i halogenats								197	197	
Altres				237	4	241	295	24	319	
Total	6.160	153	6.313	1.590	23	1.613	2.479	243	2.722	10.648

* L'estructura de l'inventari oficial no permet desagregar sectorialment les emissions de calderes i cogeneració. Això explica algunes característiques de la taula:

- El total global només es pot llegir a l'última fila.
- Es destaquen les activitats industrials més significatives en relació amb els processos. El sector agroalimentari, molt important a Catalunya, no apareix diferenciat com a subsector, ja que el gruix de les emissions deriven de l'apartat calderes i cogeneració.

Font: Elaboració pròpia, a partir de dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2012).

2014, entre el 1990 i el 2012 la indústria catalana va reduir les emissions un 6 %. Dos factors principals expliquen aquesta disminució:

- La reducció de la producció d'halocarburs a principi dels 2000.
- El descens de l'activitat econòmica a partir del 2007, particularment en el sector de la construcció.

No s'han trobat dades significatives per a quantificar la influència en la mitigació de la millora de l'eficiència energètica i dels processos a la indústria catalana.

Pel que fa a les emissions de l'any 2012, les quals estaven sotmeses a la directiva de drets d'emissió, 73 instal·lacions industrials catalanes, majoritària-

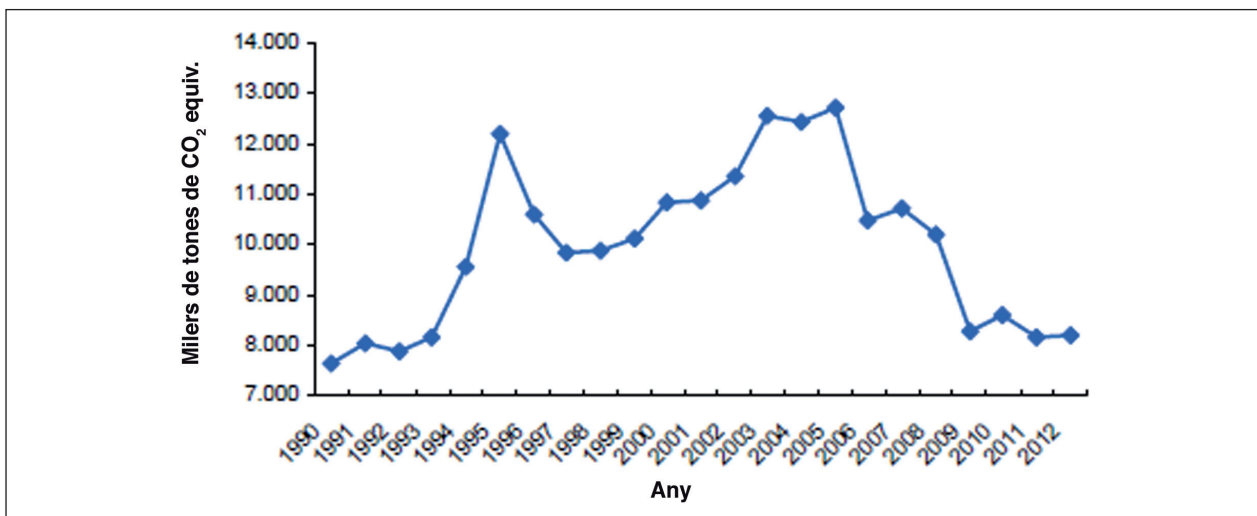


FIGURA 15.3. Evolució de les emissions de la indústria associades al consum energètic 1990-2012 (Cinquè Informe de Progrés del compliment del Protocol de Kyoto a Catalunya, 2014).

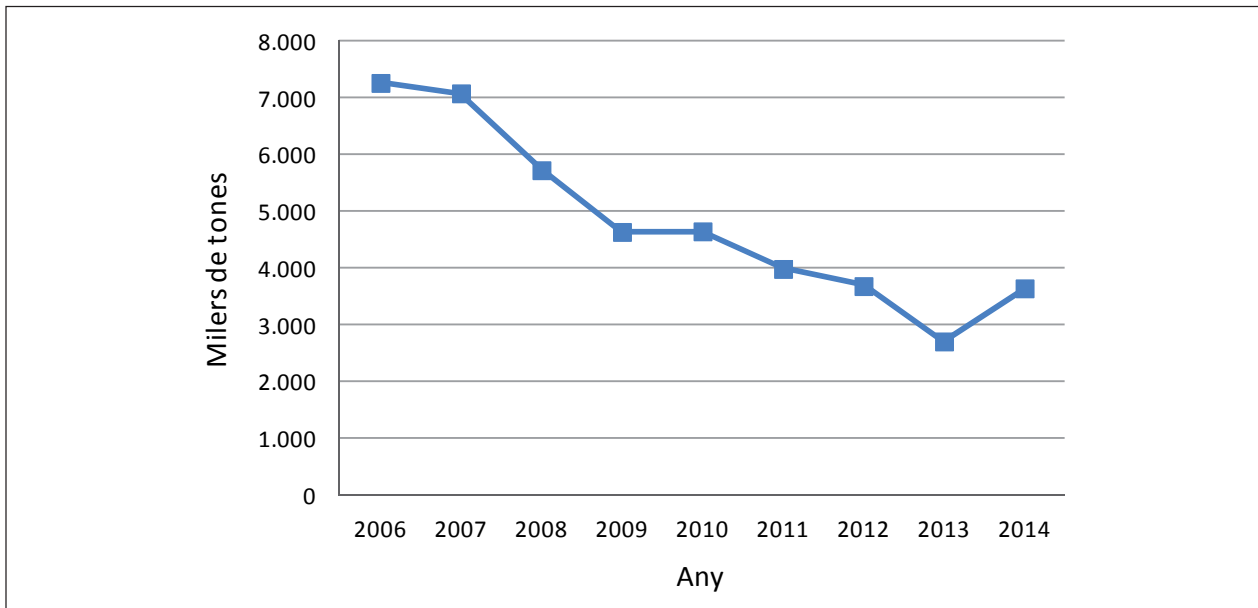


FIGURA 15.4. Evolució de la producció de clínquer a Catalunya (Idescat).

ment del sector paperer i de materials de construcció, van rebre una assignació de drets de 8,5 Mt CO₂ equiv. per unes emissions verificades de 4,2 Mt i un superàvit de 4,3 Mt CO₂ equiv., el 77 % del qual corresponia al sector del ciment. La resta de drets industrials es van assignar a instal·lacions de cogeneració.

Finalment, cal destacar que l'any 2012 les emissions directes de la indústria van representar el 25 % del total català. Aquesta contribució és del mateix ordre que les dels sectors del transport o l'energètic.

En conclusió, pràcticament el 90 % de les emissions directes de GEH de la indústria catalana tenen l'origen en l'ús de combustibles fòssils per a calderes, en la cogeneració i en la indústria del ciment (combustió de coc i reaccions de descarbonatació).

15.4. Mesures de mitigació

És ben sabut que la indústria és un dels sectors que més contribueix a les emissions totals de GEH; a la figura 15.5 es pot veure de manera clara. L'amplada de cada línia és proporcional als GEH emesos i la suma de les amplàries al llarg de qualsevol dels talls verticals equival a les emissions totals de GEH (Bajzelj, 2013). En primer lloc, es donaran unes indicacions genèriques aplicables virtual-

ment a tots els sectors industrials i, a continuació, valorarem la situació a Catalunya en tres sectors industrials concrets.

15.4.1. Com i què

Com hem vist anteriorment, la contribució de les emissions de GEH pel que fa a la indústria a Catalunya és del 25 %. Cal tenir ben present que aquesta xifra indica les emissions directes (abast 1) i que no hi són incloses les emissions indirectes (per exemple, el consum d'electricitat no produïda a la mateixa planta —abast 2— o altres emissions indirectes com ara les produïdes durant l'ús dels productes fabricats per cada empresa —que són part de l'abast 3—). Precisament perquè és important no solament la reducció de les emissions directes de la indústria, sinó també les indirectes, tant des del punt de vista energètic com també dels materials emprats, és el motiu que ens ha impulsat a anar més enllà en aquest TERCER INFORME, tal com es pot llegir a continuació.

Al llarg d'aquest apartat aportem informació i fem algunes recomanacions per a mitigar el canvi climàtic en cadascun dels tres sectors industrials que més contribueixen al VAB de Catalunya: alimentari, químic i automoció (taula 15.1), tant pel que fa a les emissions directes (responent a la pregunta «Com es fan les coses a l'empresa?»), com des de la perspectiva del producte específic que produeix

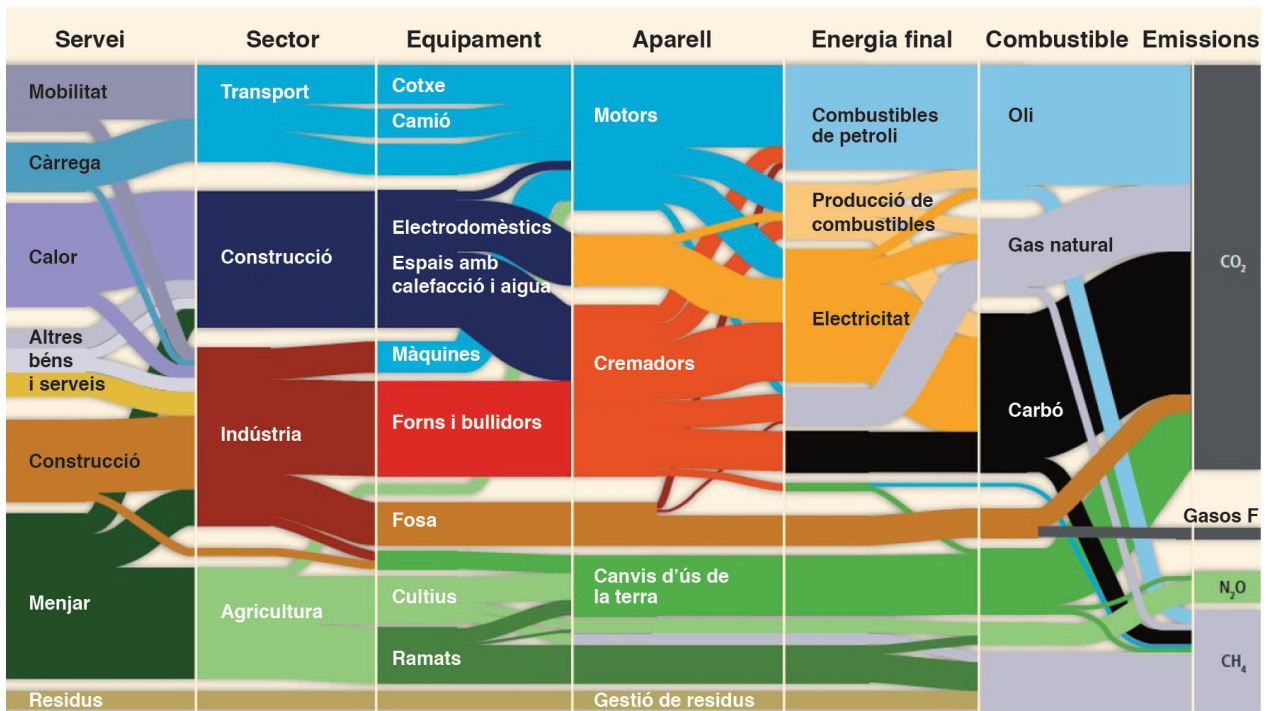


FIGURA 15.5. Diagrama de Sankey amb les emissions globals de GEH expressades com a percentatge de CO₂ equiv.

xen (responent a la pregunta «Quin producte es fa a l'empresa?»). El fet que cada empresa redueixi les emissions de GEH en el *com* i, sobretot, en el *què*, és el que farà més competitiu aquest sector a Catalunya, a la vegada que situarà el producte i l'empresa en la transició vers l'economia verda. Fabricar productes més eficients pel que fa l'ús de l'energia i els materials impulsarà la innovació industrial a Catalunya.

Al final de l'anàlisi de cada sector fem una proposta d'indicadors clau de rendiment (a partir d'ara KPI, sigla de la denominació anglesa *key performance indicator*). L'ús de KPI per cada empresa, com a objectius individuals, així com el que se'n pugui fer des de l'Administració catalana definiran una mètrica que ajudarà a mesurar el progrés que es faci en la mitigació del canvi climàtic.

Pel que fa a *com* es fan les coses, a continuació s'estudien tres vessants de l'eficiència: energètica, en l'ús de materials i en les emissions.

15.4.1.1. Eficiència energètica

Les oportunitats de millorar l'eficiència energètica són moltes: en els sistemes de vapor o d'escalfament (calderes i forns), però també en els sistemes

amb motors elèctrics —com bombes, ventiladors, compressors d'aire, refrigeradors— o en el trasllat de materials. Els sistemes de control electrònic són una font molt important d'optimització, especialment a les PIME (Masanet, 2010). Per a millorar la gestió del calor, alguns estudis (US Department of Energy, 2004) apunten cap a la millora de l'intercanvi entre gasos i fluids freds i calents, les millores en l'aïllament, la captació i la utilització de la calor dels materials calents i l'ús de la calor produïda pels gasos d'escapament, bé per a generar electricitat, bé per a ser usada en processos a temperatures més baixes.

15.4.1.2. Eficiència en els materials

«Eficiència en els materials» significa donar el mateix servei, però emprant un nombre més baix de materials. En totes les indústries manufactureres, el capítol de despeses més gran, amb diferència, és el de la compra de matèries primeres. Un estudi del Govern alemany (DEMEA, 2014) el situa en el 43,2 %, mentre que els costos de personal no arriben a la meitat, amb tan sols un 21,5 %. Aquí s'amaga una gran oportunitat per a reduir les emissions, a la qual no s'ha començat a dedicar l'atenció que mereix fins fa poc. Hi ha dues estratègies per a incrementar l'eficiència durant el procés de producció:

- 1) Reduir les pèrdues de rendiment en la producció de materials, la fabricació i la construcció del producte final.
- 2) Reutilitzant el material. Hi ha materials que ja es reciclen massivament, com ara l'acer, el qual conté un 60 % de material reciclat (BIR, 2015) i no hi ha cap barrera tècnica que impedeixi seguir augmentant aquest percentatge. La disponibilitat d'aquests materials usats creix cada dia i, si els fem, contribuïm a l'economia circular, una de les branques importants de l'economia verda.

15.4.1.3. Eficiència en les emissions

Segons informa l'Agència Internacional de l'Energia (IEA, 2011), l'any 2008 el 40 % del subministrament energètic a la indústria venia directament del carbó i del petroli, el 20 % del gas i el 40 % restant de l'electricitat (de la xarxa o d'electricitat renovable instal·lada i consumida al mateix centre productiu); aquests percentatges es preveu que siguin, respectivament, del 30 %, 24 % i 46 % l'any 2035. El pas del carbó o el petroli al gas implica una disminució en les emissions per unitat energètica. Les centrals de cicle combinat (CCC) ofereixen una bona sinergia amb diferents tipus d'energies renovables (IEA, 2011).

L'ús de deixalles i de biomassa és encara escàs en la indústria com a font energètica, però la previsió indica que augmentarà considerablement. La indústria cimentera incinera residus sòlids i fangs de depuradores fins a cobrir un 17 % de l'energia tèrmica per producció de ciment. També la indústria paperera informa que a escala europea més del 50 % del consum energètic que duu a terme prové de la biomassa (CEPI, 2014). Segons l'IEA, una bona part de la reducció d'emissions de la indústria esdevindrà per la captura i emmagatzematge de carboni; en canvi, es creu que l'ús de CO₂ com a matèria primera per la indústria química no creixerà i, per tant, poc probable que contribueixi significativament a la mitigació. Aquí cal comptar amb la innovació i hi han diversos projectes industrials innovadors en aquesta direcció.

En relació amb les emissions de GEH diferents del CO₂, les de HFC-23 es poden reduir mitjançant la millora de processos i la destrucció tèrmica. La producció d'àcid adípic, (CH₂)₄(COOH)₂, i àcid ní-

tric, NH₂, provoquen emissions de N₂O, les quals es van reduir a la meitat entre el 1990 i el 2010 (EPA, 2012) gràcies a la implementació de destrucció tèrmica i de catalitzadors secundaris. Els HFC usats com a refrigerants també es poden substituir per alternatives (amoníac, hidrofluorolefines, CO₂) i, alternativament, es poden disminuir les emissions mitjançant el reciclatge i la detecció i la reparació de fugues.

15.4.1.4. Disseny del producte

Aquí ens referim al *què*, a quin producte fa l'empresa. Aquest és, sense cap dubte, l'apartat que més pot contribuir a mitigar el canvi climàtic. Perquè això passi, cal promoure l'ús de l'anàlisi de cicle de vida (ACV) en tots els sectors industrials com a eina perquè una indústria sigui capaç de repensar el producte de dalt a baix. És molt difícil generalitzar, però el que sí que és cert és que la fabricació del producte durant el procés industrial acostuma a significar una part petita de les emissions de GEH quan es té en compte l'ACV. En podem veure algun exemple en l'apartat corresponent.

15.4.2. Mitigació en tres sectors industrials d'alt VAB a Catalunya

15.4.2.1. Indústries de productes alimentaris i de fabricació de begudes (CCAE10)

Tot i que tenim poques dades específiques, entre les activitats amb un consum més alt d'energia cal destacar els escorxadors, la mòlta de panís humit, els processos d'assecatge de panís o d'alfals i la conservació de fruita i verdura en cambres frigorífiques. En aquest sentit, el sector ja ha començat a girar cap a una eficiència més elevada en l'ús de l'energia, sobretot pel cost, com ara passar de l'ús de gas al de biomassa, i també s'està ampliant l'ús de bombes de calor. Igualment, en el transport es pot utilitzar més el ferrocarril, amb la reducció d'emissions que això representa, o bé promoure l'ús de productes agraris i ramaders de proximitat, que sempre produiran menys emissions en el transport. Una altra manera destacable de reduir les emissions, i de la qual hi ha molts exemples, és mitjançant les instal·lacions fotovoltaïques en les teulades de naus industrials, les quals fan que una part del consum elèctric de l'empresa passi a ser directament d'origen renovable.

Pel que fa als materials, és cada cop més freqüent observar la reducció en el pes dels envasos, tant de plàstic com, amb menys intensitat, els de vidre o els metàl·lics. En són exemples notoris les reduccions de pes en ampolles de polietilè (PE) o de polietilentereftalat (PET), de pes molt més baix que l'anterior.

En el disseny del producte és des d'on es pot incidir més en la mitigació del canvi climàtic, i també on s'obre encara més la porta a la innovació. Una vessant en la qual s'està avançant de fa temps és en la incorporació de materials reciclables, més lleugers, als envasos i també a facilitar els paquets (*packs*) familiars. L'aplicació de l'ACV permet, si fem un primer càlcul aproximat, saber a quina etapa de la vida d'un producte es generen la major part de les emissions i així s'hi pot actuar. Les diferències entre productes poden ser molt grans.

Per exemple, en la preparació de suc de taronja congelat i concentrat (Boye, 2012) resulta que el 30 % del consum energètic es genera en el processament industrial i en la preparació del concentrat del suc. Tota l'activitat agrària és responsable del 60 %, mentre que el transport tot just arriba al 5 %. En canvi, en la producció de cervesa en ampolla de vidre, la part més important del consum energètic es relaciona amb la fabricació de l'ampolla de vidre, amb un 50 %, seguit del processament i del transport, que representen un 35 %, mentre que l'activitat agrària es queda amb una part més petita de les emissions totals.

Aquests dos exemples aporten una idea de la complexitat de la mitigació i del fet que aquesta s'ha d'aconseguir mitjançant un esforç conjunt de l'empresa i de les administracions. En l'exemple de la cervesa, l'impacte que té la fabricació de l'ampolla de vidre cau espectacularment si es disposa d'un bon sistema de recollida d'envasos amb pagament d'un dipòsit. En aquest sentit, un dels que funciona bé de fa anys és l'alemany (*Flaschenpfand*) per a vidre, plàstic o llauna.

Cal posar de manifest que hi ha un marge important per a augmentar l'eficiència en aquest sector. Hi ha estudis (Gunders, 2012; Gustavsonn, 2011) que estimen que, globalment, entre el 30 i el 40 % dels aliments produïts per a consum humà es

perd, bé durant la producció i la distribució minorista o bé a causa dels mateixos consumidors. Segons aquests estudis, la meitat de les emissions totals dels aliments les aporten solament la carn i els productes lactis.

Un altre estudi (Garnett, 2009) suggereix que el 2050 el consum mitjà *per capita* hauria de ser de mig quilo de carn i un litre de llet a la setmana, el qual es correspon amb el consum mitjà *per capita* que trobem actualment al món en desenvolupament. Les portes a la innovació estan ben obertes, també en el sentit d'oferir nous productes amb imaginació: hi ha qui des de fa temps ha posat al mercat mandonguilles vegetals.

15.4.2.2. Indústria de fabricació de productes químics i farmacèutics (CCAE20)

El sector químic i farmacèutic a Catalunya presenta una altíssima varietat i està molt orientat a l'exportació. Podem parlar des de la fabricació de vernissos i pintures fins a olis essencials i aromes; des d'adhesius fins a pesticides; des de productes per a la neteja de la roba i de la llar fins a greixos i lubricants.

En tot el que fa referència a l'eficiència energètica i a les emissions, cal destacar el canvi del combustible al gas natural, el qual en bona part ja s'ha dut a terme a Catalunya. Globalment, l'IPCC (Fischedick, 2014) xifra, per a una indústria química tipus, la reducció d'emissions per aquest canvi de combustible en un 47 % si el comparem amb l'ús del fuel.

És molt important fer un bon manteniment, especialment en les empreses on hi pot haver fugues de GEH diferents del CO₂.

Pel que fa al materials, el reciclatge té un lloc important, de manera biunívoca: emprant materials reciclats (per exemple, plàstics) o, també, fabricant materials que siguin fàcils de reciclar que facilita l'entrada a l'economia circular.

En relació amb el disseny del producte, durant els darrers anys s'han dut a terme mesures per a disminuir la petjada de carboni del producte, com ara posar a la venda productes més concentrats (detergents, netejadors, etc.), tot i que l'envelliment de

la població i també l'augment de llars unipersonals actuen una mica a la contra a l'hora d'afavorir la posada al mercat de productes en petits envasos o dosis (amb l'increment de la petjada de carboni per cada dosi). Quan pensem en els productes destinats al consumidor final (no els B2B) és important tenir cura que els envasos siguin fàcilment reciclables; això vol dir, per exemple, que si un envàs de cartró conté una cinta de plàstic per a transportar-lo amb més facilitat, cal que el fabricant es preocupi de facilitar que es pugui separar la cinta de plàstic, que anirà a un contenidor, de la resta de cartró, que anirà a un altre. L'Administració alemanya ha fet molt d'èmfasi en aquest punt des de principi dels noranta i ha entrat, fins i tot, en els detalls més petits.

La innovació torna a ser molt important, ja que està lligada a l'ACV. Sovint la petjada d'un producte pot tenir un gran impacte, perquè durant la fase d'ús es redueix sensiblement el consum energètic, com ara els detergents que són eficaços a baixa temperatura.

15.4.2.3. *Indústria de fabricació de vehicles de motor*

La millora de l'eficiència pel que fa a la fabricació de vehicles abasta una varietat de situacions amplíssima. Des de l'ús de fonts energètiques més eficients, fet en què a Catalunya ja som capdavanters gràcies a la cogeneració, fins a l'ús de combustibles alternatius. Abraça des dels sistemes d'aire comprimit, les calderes de vapor i la distribució, l'enllumenat i la gestió dels materials, fins al muntatge amb robots elèctrics en lloc de pneumàtics i els processos de pintura més eficients i amb emissions de GEH més reduïdes. Tampoc no es poden negligir temes com els banys de rentatge o els de fosfatació, que s'han d'anar substituint per processos més sostenibles, amb un consum energètic més baix, i més nets pel que fa al medi ambient.

Disposem de poques dades pel que fa a Catalunya, ja que el ventall de situacions és molt divers. El que sí que es vol fer en aquest apartat és aportar algun dels reculls que ha fet la mateixa indústria automobilística amb mesures anomenades ENERGY STAR per a millorar l'eficiència, com el de Galitsky (2008).

Pel que fa a l'ús de materials al món de l'automòbil, cal tenir en compte que els metalls més utilitzats són l'acer galvanitzat, l'alumini i l'acer, per aquest ordre. Tot i que els nous aliatges han facilitat, per exemple, la reducció de pes en els automòbils, en la pràctica els cotxes acaben pesant molt, especialment els grans. Tanmateix, ha estat provat (Carruth, 2011) que molts vehicles podrien ser un terç més lleugers sense que això signifiqués cap pèrdua en les prestacions, amb una optimització en el disseny i en la producció. Fins ara, el cost elevat en personal en relació amb els materials solament fa practicable aquesta oportunitat en indústries com ara l'aeroespacial, en què el cost de dissenys més lleugers té un retorn amb l'estalvi de combustible.

En relació amb el disseny del producte, aquí hi ha poc a discutir. A Catalunya ja disposem de diversos fabricants que han fet el pas cap a una nova generació de vehicles molt més eficients i amb una reducció global del 40 % de les emissions si tenim en compte l'ACV (Nissan, 2010). En un vehicle convencional de gasolina, les emissions de GEH mentre el vehicle és en ús, juntament amb les de la producció i la distribució del combustible són del 75 % del total; en un vehicle elèctric ben just si arriben al 33 %. Aquest és un clar exemple de reinvençió del disseny del producte per a assolir la mitigació del canvi climàtic a la fase on més emissions es produeixen, la qual és, en un cotxe, la fase d'ús del producte.

15.4.3. *La mitigació de GEH a la indústria: una reflexió final*

Ocasionalment, es poden llegir i sentir en mitjans de comunicació internacionals, però també catalans, comentaris negatius en relació amb la indústria i la contribució que fa al canvi climàtic (mitjançant les emissions de GEH). En aquest apartat s'ha volgut deixar clar que la indústria és conscient de la necessitat de canvis, que ja n'ha fet i que és copartícip del repte que hem d'afrontar.

Es fa referència, igualment, a dades sobre Catalunya, però també globals, atès que en la qüestió del canvi climàtic cal actuar a escala local, però mantenint sempre una perspectiva global pel que fa a les emissions de GEH. També es combinen accions de la indústria amb accions de la societat

(individus), ja que la demanda de productes més bons per a la societat en conjunt facilita i promou que la indústria acceleri el canvi i ofereixi productes de més qualitat.

L'abast i extensió del capítol no permet fer un tractament a fons de temes com ara l'economia circular o el desenvolupament dels KPI més adequats. Al llarg del capítol se n'han proposat alguns, els quals poden ser millorats i adaptats a la situació concreta de cada empresa. Igualment, s'han hagut de deixar de banda altres estudis molt sòlids per a reduir les emissions de la indústria (Kainuma, 2013) que apunten cap a la disminució global de la demanda de productes i serveis com a solució. En relació amb els KPI, són nombroses les empreses que els tenen internament, igualment com tenen plantejats els objectius a deu anys i les fites anuals de reducció d'emissions de GEH.

Cal tenir present que és molt important anar molt més enllà dels objectius (lloables) que es van marcar a Kyoto fa gairebé vint anys; per aquest motiu, en la part de mitigació s'ha incidit especialment amb vista a prendre com a exemple economies més avançades que la de Catalunya, com ara la d'Alemanya, on l'economia verda fa anys que es mesura amb l'*Umwelttechnologie-Atlas (Atlas de technologies mediambientals)* (BMUB, 2014). En la darrera edició (4.0), s'apunta que el volum de mercat d'aquesta economia verda a Alemanya, que ocupa 1,5 milions de persones, se situa en els 344 miliards d'euros, 44 més que en l'edició 3.0, publicada el 2012. Fins al 2025 creixerà anualment un 6,5 %, fins als 740 miliards d'euros. L'economia verda global es tradueix en un volum de 2.536 miliards d'euros, i l'estimació per al 2025 és que arribi als 5.385. Globalment l'economia alemanya representa un 5 %, mentre que en economia verda, la participació puja fins al 14 %.

15.5. Canvi climàtic i gestió de riscos a la indústria

15.5.1. Productivitat total dels recursos

Des de l'òptica industrial, les emissions de GEH estan associades amb l'extracció i transformació dels recursos naturals en productes intermedis i per al consum. De fet, bona part dels problemes ambientals més rellevants tenen l'origen en el con-

sum de recursos biòtics i abiòtics: materials, combustibles i aigua.

Actualment, el consum de recursos al món supera els 70.000 milions de tones a l'any (figura 15.6). Si es tenen en compte els materials que és necessari treure, però que no arriben a entrar en l'economia, la xifra supera els 100.000 milions de tones anuals. L'ús de combustibles fòssils per a obtenir i processar aquests recursos és la causa principal de les emissions de GEH, però també els canvis en l'ús de la terra (desforestació, erosió i pèrdua de matèria orgànica dels sòls), fet que comporta la recollecció de biomassa agrícola i forestal, amb impactes negatius addicionals sobre la biodiversitat i l'aigua.

A causa de la tendència global que mostra la figura 15.6, una reducció absoluta en el consum de recursos, especialment en els països industrialitzats, sembla inevitable si no es volen traspassar els límits planetaris, en particular en l'àmbit del canvi climàtic.

En aquest context, un dels riscos importants per a la indústria, especialment a Catalunya, és la volatilitat dels preus dels recursos (vegeu la figura 15.7) i la incapacitat per a preveure'n l'evolució a l'hora d'avaluar les inversions, sense descartar episodis puntuals de desproveïment.²

Algunes dades concretes ajuden a avaluar aquest risc a escala global:

- Segons el Wolfensohn Center (Kharas, 2010), les classes mitjanes amb capacitats de consum similars a les occidentals augmentaran en 3.000 milions de persones durant els propers tres decennis. Com que no s'aprecia un desacoblament significatiu del PIB i del consum de recursos, si les tendències actuals continuen

2. Un informe (*Defra's waste policy review*, January 2012) elaborat per la patronal britànica de les empreses productives (The Manufacturers' Organization, EEF) insisteix en la reducció de costos que es pot aconseguir si som eficients en l'ús dels recursos. El 80 % de les empreses associades a l'EEF creu que la falta de primeres matèries és un risc per a les empreses, un 66 % de les quals veu aquest risc com el més gran al qual han de fer front. L'informe demana al Govern que desenvolupi una estratègia de gestió de recursos que estimuli i recompensi l'eficiència en l'ús dels recursos.

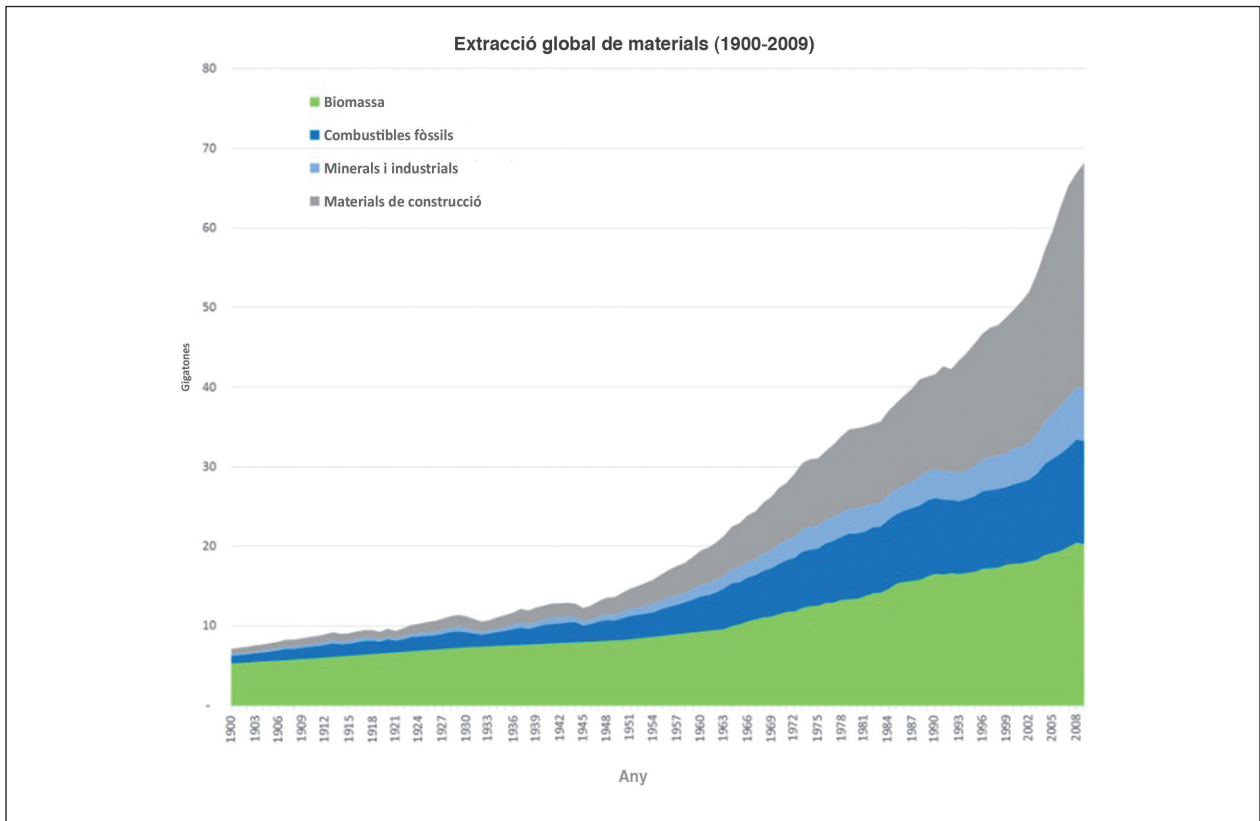


FIGURA 15.6. Extracció global de materials (Gt) 1900-2009 (Universitat Alpen-Adria Klagenfurt, 2009).

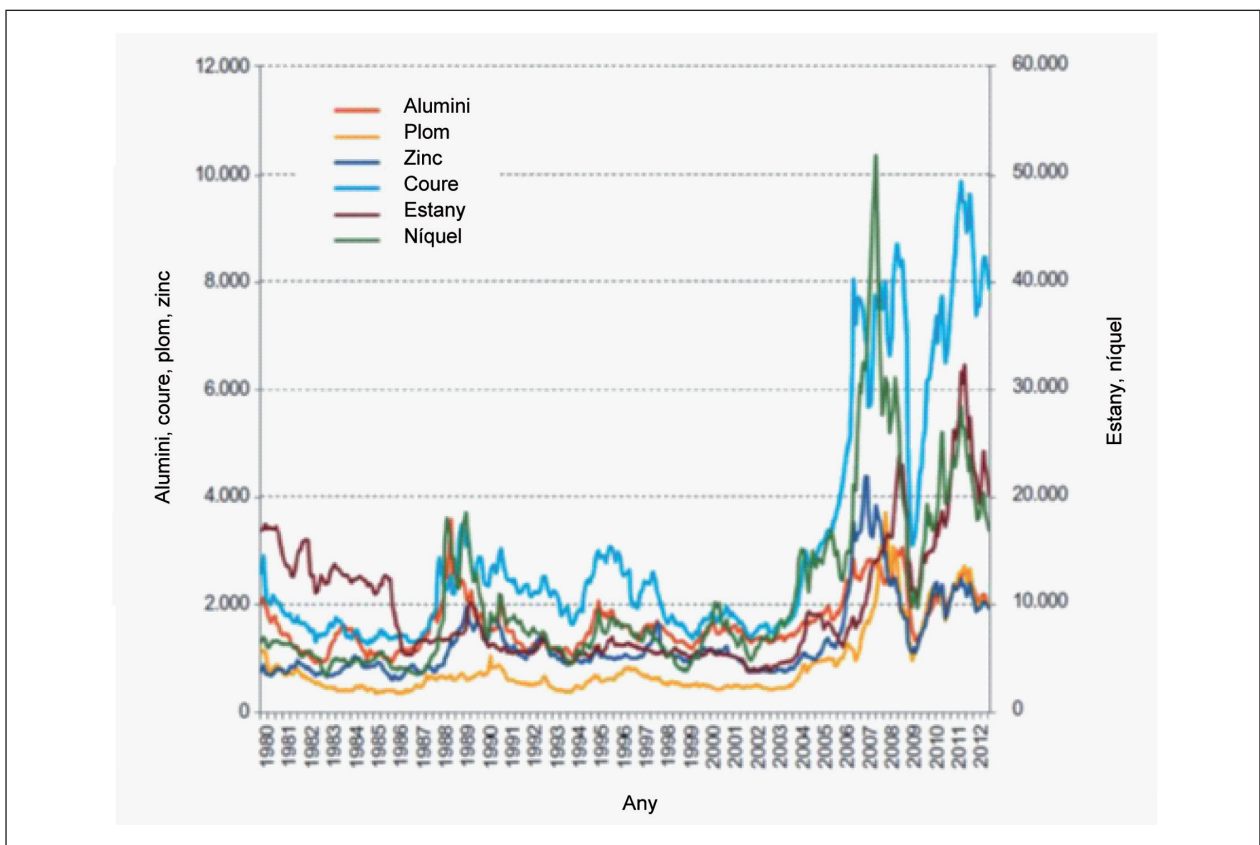


FIGURA 15.7. Evolució del preu de metalls seleccionats (\$/t) 1980-2012 (PRECAT20).

(*business as usual*), el consum de recursos es podria doblar en 30 anys.

- L'EROI (*energy return on energy investment*) del petroli convencional, és a dir, la relació entre l'energia útil per a la societat i l'energia que cal esmerçar per obtenir-la, fa anys que decreix. En l'últim decenni, ha passat de prop de 40 a 20. El petroli no convencional (aigües fonderes, petroli d'esquists, sorres bituminoses, etc.), del qual depenen els increments importants en la producció total, té un EROI baix (inferior a 10).

El petroli no s'acaba, el petroli de baix cost d'extracció, sí (vegeu la figura 15.8).

El problema de l'EROI no afecta solament el petroli, sinó també a determinats recursos minerals bàsics. Cada cop cal invertir més diners per a extreure una tona de mineral, ja que les fonts fàcilment accessibles s'esgoten per alguns materials (figura 15.9).

Les dificultats en el subministrament de recursos s'aguditzen pel canvi climàtic, el qual afecta les collites, limita la recollida de biomassa i pot obligar a deixar una part de les reserves de combustibles fòssils inexplorades.

- La dependència de la UE pel que fa a la importació de recursos la fa especialment vulnerable a la volatilitat dels preus i als riscos de desproveïment. Catalunya no n'és una excepció.

15.5.2. Una indústria que depèn menys de determinats recursos naturals

Aquestes tendències estan sotmeses a una notable incertesa derivada de la dificultat d'obtenir dades fiables. Però el risc existeix, és innegable i la materialització depèn de factors poc controlables o previsibles com ara l'evolució tecnològica, l'estabilitat geopolítica o les conseqüències visibles del canvi climàtic. La indústria no ho pot ignorar i ha de fer de la resiliència pel que fa a aquest risc un dels pilars de la competitivitat futura. En aquest sentit, la indústria catalana, a la qual dona suport un marc juridicoadministratiu adequat, hauria de potenciar la implantació de mesures com les que han estat a l'apartat 15.4, de les quals destaquen:

- La substitució progressiva de recursos fòssils, escassos o volàtils.
- L'increment de la productivitat dels recursos mitjançant les tecnologies de la informació i la comunicació, la nanotecnologia i la biotecnologia.
- L'adopció de models de negoci que permetin un control més elevat pel que fa als recursos materials i energètics incorporats en els productes (economia circular).
- L'eficiència energètica i la incorporació de les energies renovables i autòctones.

15.5.3. Sinergies amb els problemes ambientals i socioeconòmics de Catalunya

La productivitat total dels recursos i la mitigació d'emissions de GEH a la indústria comporta co-

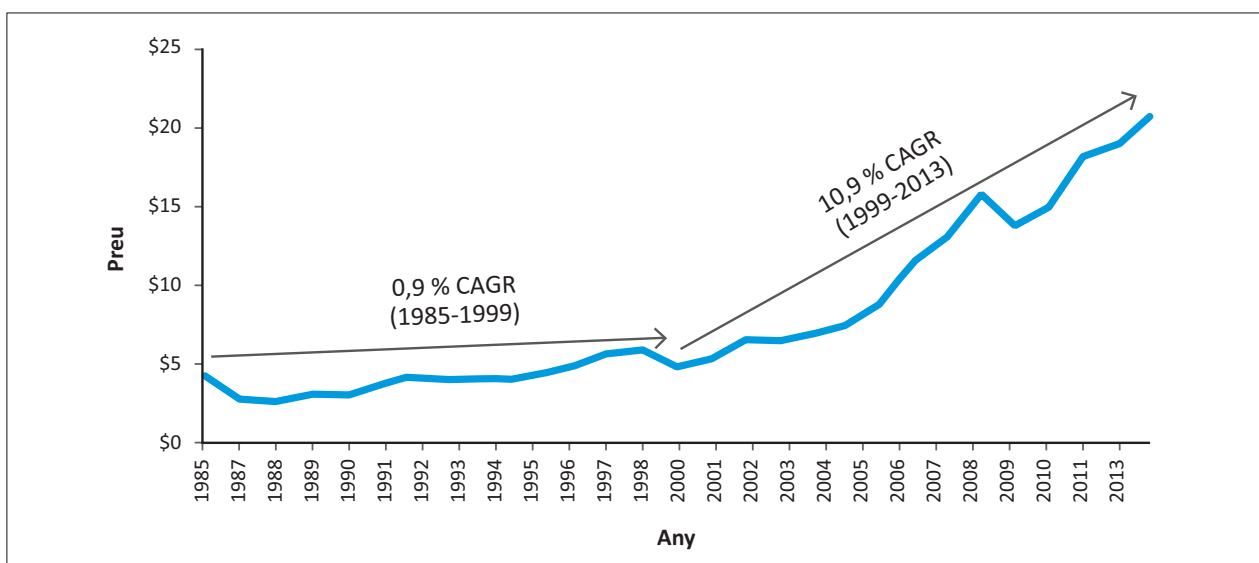


FIGURA 15.8. Capes d'exploració i producció per barril de petroli (taxa de creixement anual composta) (Douglas-Westwood (2014), *Oil and economic growth: A supply-constrained view*).

Font: IEA, Barclays Research.

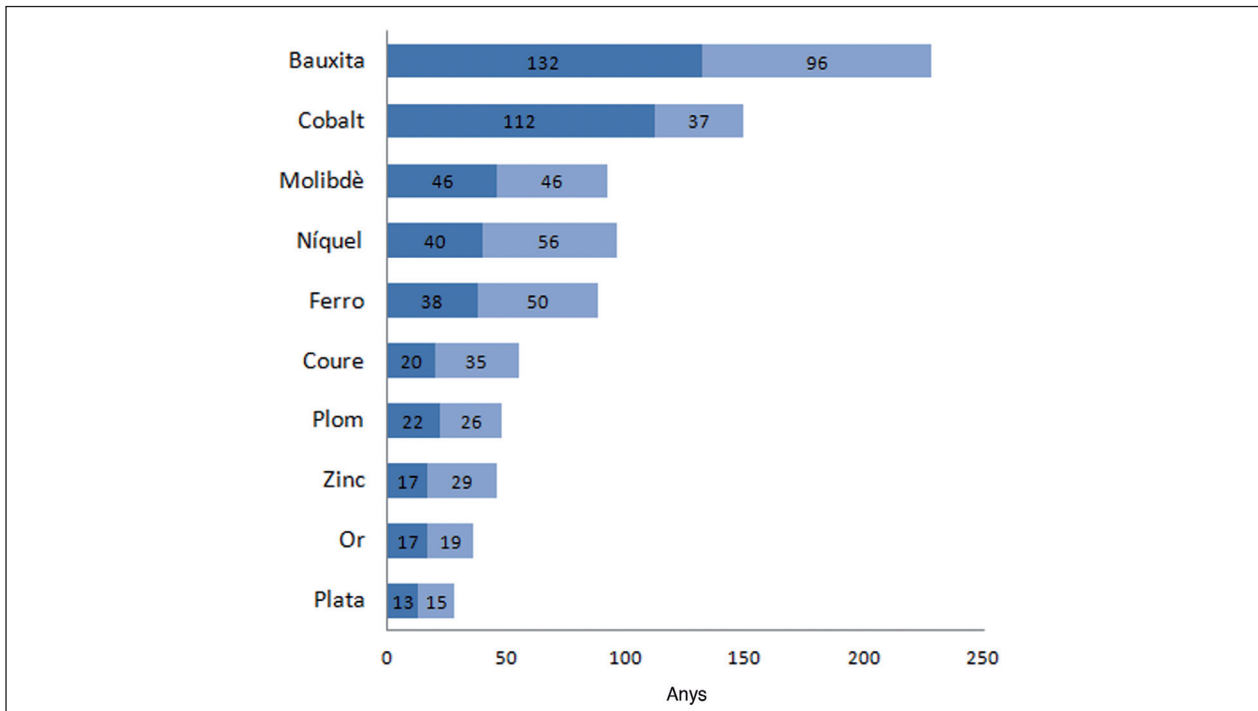


FIGURA 15.9. Reserves al ritme d'extracció actual (anys): econòmicament atractives (fosc), poc viables (clar). Elaboració pròpia a partir de *US Geological survey's mineral commodities*, 2008. Alguns minerals són escassos.

beneficis importants que, tot i que en bona part són externs als comptes d'explotació empresarials, s'haurien d'integrar en la responsabilitat social de les empreses:

- Equilibri de la balança de pagaments, bescanviant importacions per creació de valor afegit local.
- Potenciació d'un sector del medi ambient eficient, diversificat i anticipatiu, capaç de competir en un dels mercats globals que més creix.
- Contribució a la solució de problemes ambientals prioritars com ara la gestió sostenible dels boscos (un recurs estratègic de Catalunya per a fer front al canvi climàtic), la reducció de la contaminació local de l'aire, l'aprofitament dels recursos continguts en els residus municipals i industrials que acaben en els abocadors, etcètera.

Cal tenir ben present que el consum de primeres matèries representa el 48 % de les despeses d'explotació de la indústria manufacturera catalana, mentre que el de personal és solament del 15 % i el de l'energia del 3 % (figura 15.10). En conseqüència, un desenvolupament industrial equilibrat i inclúsiu per a assolir els objectius econòmics, socials i ambientals, demana fer tant o més èmfasi en la productivitat dels recursos i del capital (incloent-hi les infraestructures) que en la laboral.

En el moment en què vam redactar aquest capítol (final del 2015), els preus de les primeres matèries eren molt baixos (en alguns casos, es troben en els mínims dels últims deu anys). Però aquesta situació és conjuntural i seria un error despreocupar-se'n, ja que les tensions de mercat tornaran. Ans al contrari, caldria aprofitar les condicions relaxades actuals per a introduir els canvis estructurals necessaris, sense esperar a haver d'actuar sota pressió.

15.6. Conclusions

El capítol se centra en les emissions domèstiques de la indústria manufacturera, amb una doble perspectiva:

- Pel que fa a l'inventari d'emissions de GEH, i d'acord amb les directrius del Conveni marc de les Nacions Unides per al canvi climàtic i la Unió Europea, es tenen en compte solament les emissions directes.
- Pel que fa a les mesures de mitigació, s'aborden tant les emissions directes com les indirectes.

L'any 2012, últim del qual tenim dades, les emissions directes de la indústria catalana van ser de 10,65 Mt CO₂ equiv., distribuïdes de la manera següent:

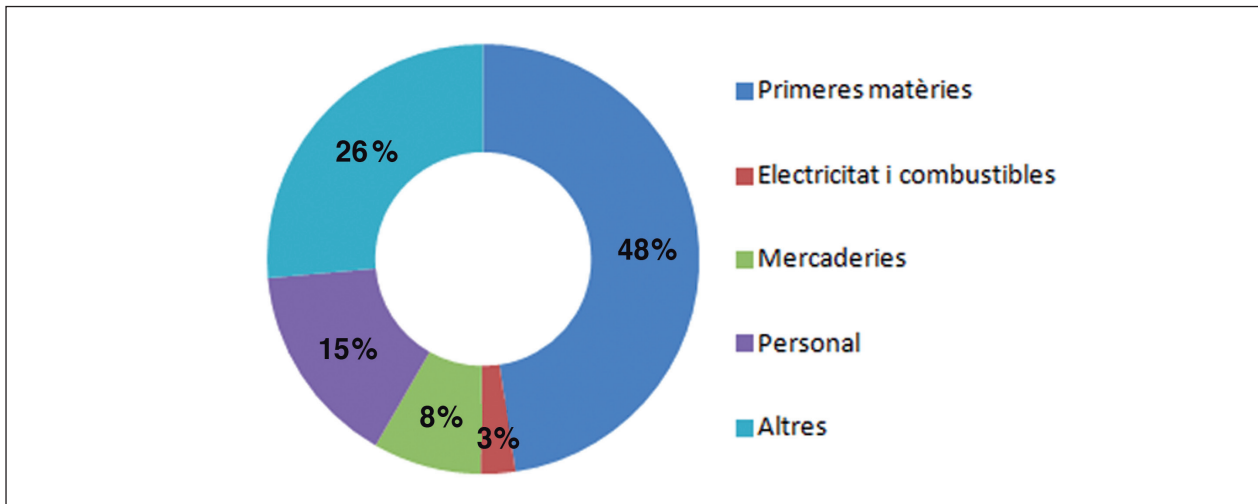


FIGURA 15.10. Estructura de costos d'explotació de la indústria manufacturera catalana el 2013 (Idescat).

- El 76 % de les emissions de la indústria estan associades a l'ús energètic. Aquestes emissions van assolir un màxim l'any 2005 de prop de 13 Mt CO₂ equiv. Des d'aleshores, s'han reduït pràcticament un 40 %, fins a 8 Mt CO₂ equiv. de l'any 2012.
- El 24 % restant, 2,6 Mt CO₂ equiv., provenen de processos sense combustió, fonamentalment de descarbonatació. Més del 60 % d'aquestes emissions correspon a la indústria de producció de clínquer. L'emissió no energètica d'aquest sector va assolir un màxim de 3,9 Mt CO₂ equiv. l'any 2005, però ha baixat fins a 1,9 Mt CO₂ equiv. l'any 2012, amb una reducció superior al 50 %.

En aquesta tercera edició de l'INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA, no solament s'ha volgut prendre nota d'emissions de GEH, sinó també encetar una nova vessant que proposa el mesurament del progrés de la indústria catalana en l'economia verda. Són les empreses dedicades a l'energia verda les quals presenten un creixement més sostingut durant els darrers dos decennis. A Catalunya, la indústria ja hi participa activament, tot i que cal desenvolupar indicadors de mesurament per a guanyar en eficiència i assegurar que es progressa en la bona direcció. La mitigació del canvi climàtic és cosa de tots i des de la indústria catalana es mira no solament de produir els productes vells d'una manera més eficient (pel que fa a energia i materials), sinó també de dissenyar

i de fer nous productes més eficients, els quals tinguin una petjada de carboni més reduïda segons la perspectiva de l'ACV i també que siguin fàcilment separables en les diferents parts amb vista a facilitar-ne el reciclatge. L'increment de l'índex de productes reciclats també ens situa en una posició capdavantera en l'economia circular. Especialment, després de la fita històrica de l'Acord de París, el convenciment que les empreses que no redueixen emissions aniran desapareixent ha crescut.

Fora de l'àmbit energètic, i d'acord amb les tendències que es poden albirar, un factor clau per a mitigar les emissions de GEH de la indústria, tant directes com indirectes, és l'increment de l'eficiència en l'ús dels recursos. L'ús (o sobreús) de recursos s'associa també amb bona part dels impactes ambientals locals i regionals que cal controlar prioritàriament. Catalunya depèn substancialment de les importacions de recursos, alguns cada cop més escassos i volàtils. Això és un risc i, alhora, una oportunitat rellevant per a la competitivitat industrial, especialment si es té en compte que les matèries primeres signifiquen un 48 % de les despeses d'explotació de la indústria manufacturera catalana, mentre que les de personal són un 15 % i les de l'energia un 3 %.

15.7. Recomanacions

Al llarg del capítol, s'ha constatat que la participació activa de la indústria catalana en la mitigació de les emissions de GEH és un fet incipient. Queda camí

per recórrer alhora que s'aprofiten les sinergies entre reducció d'emissions i eficiència productiva.

El Govern de Catalunya està fent un esforç per desenvolupar i coordinar les polítiques implicades (industrial, energia, medi ambient i canvi climàtic, innovació) de manera sinèrgica, consistent, estable i previsible per a mobilitzar inversions en mesures de mitigació d'emissions de GEH. Cal destacar les iniciatives següents:

- Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020.
- Pla d'Acció d'Eficiència Energètica a la Indústria de Catalunya.
- Aplicació de les millors tècniques disponibles per a l'eficiència energètica en el sector industrial.
- Estratègia Catalana d'Ecodisseny per a una Economia Circular i Ecoinnovadora.
- Impuls a l'economia verda i a l'economia circular. Competitivitat-eficiència-innovació.
- Estratègia de Recerca i Innovació per a l'Especialització Intel·ligent de Catalunya (RIS3CAT).
- Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC).

A l'hora d'aplicar aquests programes i estratègies a l'àmbit de les emissions directes de GEH de la indústria, cal tenir present que el problema consisteix en un 75 %, en l'ús de combustibles fòssils per a satisfer les necessitats energètiques de la indústria. En aquest sentit, les estratègies catalanes pel que fa a les energies renovables i l'eficiència energètica són cabdals.

Un 20 % de les emissions directes tenen l'origen en la descarbonatció de la pedra calcària. Si s'hi inclouen també les emissions indirectes, l'èmfasi es desplaça cap a l'eficiència en l'ús dels recursos materials, i les estratègies catalanes sobre ecodisseny i economia circular guanyen protagonisme.

Les estratègies catalanes esmentades tracten de la major part de les mesures necessàries per a acompanyar la indústria en la prevenció del canvi climàtic. No obstant això, es destaquen algunes recomanacions complementàries o que no hi són prou representades:

1) Seguint el model de països avançats en aquest àmbit, desenvolupar un programa català per

a la productivitat dels recursos a la indústria, que tingui present les sinergies amb el canvi climàtic i altres problemes ambientals prioritaris a Catalunya.

2) Crear un servei especialitzat per a la promoció de la productivitat dels recursos a la indústria. Si no és possible crear una nova estructura, el servei es podria prestar des d'un centre tecnològic existent o des de l'àmbit de la universitat, amb un acord dels principals agents implicats i la intervenció activa de les empreses catalanes del sector de la consultoria mediambiental.

L'objectiu bàsic del servei seria aportar el coneixement necessari per a desenvolupar els pilars esmentats de la política industrial de productivitat dels recursos. Caldria coordinar aquest nou servei amb les estructures existents en el camp del canvi climàtic, l'ecodisseny i l'anàlisi del cicle de vida (ACV) i l'eficiència energètica.

El servei es podria inspirar, per exemple, en el Centre per a l'Eficiència dels Recursos (ZRE) alemany. Se'n destaquen dues funcions bàsiques:

a) **Comptabilitat:** Aquest és un àmbit clau. Cal mesurar amb més detall i precisió allò que es vol gestionar i aportar informació bàsica a la indústria, especialment a la petita i a la mitjana:

- Elaborar estadístiques i indicadors de consum, eficiència i productivitat dels recursos a la indústria (amb prou desagregació sectorial) i la relació que tenen amb les emissions de GEH.
- Establir objectius a mitjà i llarg termini per als indicadors seleccionats.
- Identificar les primeres matèries estratègiques per a Catalunya (inseguretat, escassetat, volatilitat de preus, etc.).
- Elaborar bases de dades sobre motxilles climàtiques dels recursos.

b) **Difusió:** Dirigida especialment a les PIME:

- Serveis de prospectiva legal i tecnològica.
- Suport a la innovació oberta.
- Guies de bones pràctiques per a l'adopció de noves tecnologies.

- Guia metodològica per a integrar l'adaptació al canvi climàtic a la cadena de proveïdors de la indústria, especialment del sector agroalimentari.
 - Formació del capital humà.
- 3) Impulsar la producció d'energia distribuïda i de l'autoconsum elèctric. Per bé que l'energia és objecte d'un capítol específic del TICCC, potenciar l'energia distribuïda pel subministrament a la indústria, especialment amb processos de cogeneració a partir de biomassa i residus no reciclables. Per això, cal promoure un marc jurídic impulsor de l'autoconsum elèctric, diferenciat del règim especial de les energies renovables convencionals (eòlica, solar, etc.) l'objectiu de les quals és canviar el mix elèctric per a fer-lo més autòcton, renovable i baix en GEH. En canvi, l'objectiu fonamental de la valorització energètica de la biomassa i dels residus és resoldre els problemes ambientals associats (gestió sostenible dels boscos, desviació d'abocador de recursos, etc.). El potencial de generació d'electricitat d'aquestes fonts és poc significatiu si el comparem amb les tecnologies convencionals, però amb un alt potencial d'aportació de valor socioambiental.
- 4) Introduir criteris vinculats al canvi climàtic en l'avaluació de la despesa pública. Sotmetre l'aportació de diners públics en mesures de suport a una anàlisi cost-benefici per tal de garantir que els possibles dèficits financers en termes de mercat es compensen amb beneficis externs i indirectes per a l'economia, amb una atenció especial als apunts següents:
- El ritme d'implantació i la resiliència per a adaptar-se a canvis en l'entorn (mercado energètic, tecnologies disruptives, nous compromisos internacionals o regulacions, etc.).
 - Sinergies amb els problemes ambientals de Catalunya (acumulació incontrolada de biomassa als boscos, contaminació local de l'aire, abocament de residus, etc.).
 - Risc en relació amb el subministrament de recursos (escassetat, volatilitat dels preus, etc.).

Les polítiques, les infraestructures i els projectes que s'implantin s'han de prioritzar segons el valor que aporten. La pregunta no és si les polítiques públiques i privades de mitigació d'emissions de GEH han de formar part de l'economia catalana, sinó com es pot maximitzar l'aportació de valor que tenen per a la societat. En qualsevol cas, cal evitar les inversions insostenibles i el cost d'oportunitat social que representen.

Referències bibliogràfiques

- ALLWOOD, J. M.; CULLEN, J. M.; CARRUTH, M. A.; COOPER, D. R. [et al.] (2012). *Sustainable materials: with both eyes open*. Cambridge: UIT Cambridge.
- BAJZELJ, B.; ALLWOOD, J. M.; CULLEN, J. M. (2013). «Designing climate change mitigation plans that add up». *Environmental Science & Technology*, 47, p. 8062-8069.
- BIR = BUREAU OF INTERNATIONAL RECYCLING (2015). «World Steel Recycling in Figures 2010-14: Steel scrap - a raw material for steel making». *Global Facts and Figures*. Brussel·les: BIR.
- BOYE, J. (2012). *Green technologies in food production and processing*. Londres: Springer Science & Business Media.
- BMUB = BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2014). *GreenTech Made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*. Berlín: EMAS.
- CARRUTH, M. A.; ALLWOOD, J. M.; MOYNIHAN, M. C. (2011). «The technical potential for reducing metal requirements through lightweight product design». *Resources, Conservation and Recycling*, 57, p. 48-60.
- CEPI = CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES (2014). *Key Statistics 2013: European Pulp and Paper Industry*. Brussel·les: CEPI.
- DEMEA = DEUTSCHE MATERIALEFFIZIENZ AGENTUR (2014). *Go-inno: Mit go-effizient steigern Unternehmen Ihre Rohstoff- und Materialeffizienz- es rechnet sich!* Berlín: DEMEA.

- EPA = ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2012). *Global anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2030*. Washington DC: EPA.
- FISCHEDICK, M. [et al.] (2014). «Industry». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició d'O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter10.pdf> [Consulta: 31 març 2016].
- FRANCESC (papa) (2015). *Carta encíclica Laudato si' del Santo Padre Francisco sobre el cuidado de la casa común* [en línia]. [Ciutat del Vaticà]: Libreria Editrice Vaticana, 24 maig. <http://w2.vatican.va/content/francesco/es/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html> [Consulta: 31 març 2016].
- GALITSKY, C. (2008). *Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the vehicle assemble industry*. Christina Galitsky and Ernst Worrell. Califòrnia: University of California. Environmental Energy Technologies Division.
- GARNETT, T. (2009). «Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers». *Environmental Science & Policy*, 12, p. 491-503.
- GUNDERS, D. (2012). *Waste: How America is losing up to 40 % of its food from Farm to Fork to Landfill*. Washington DC: National Resources Defence Council.
- GUSTAVSONN, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R. [et al.] (2011). *Global food losses and food waste*. Düsseldorf: United Nations Food and Agriculture Organization.
- IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2009). *CCAE-2009 (ca) Classificació catalana d'activitats econòmiques* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/Classif/?TC=4&V0=1&V1=87>> [Consulta: 31 març 2016].
- IEA = INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011a). *Cogeneration and renewables: Solutions for a low-carbon energy future*. París: IEA.
- (2011b). «Are we entering a golden age of gas?». A: *World energy outlook 2011 special report*. París: IEA.
- KAINUMA, M.; MIWA, K.; EHARA, T.; AKASHI, O. [et al.] (2013). «A low carbon society: global visions, pathways, and challenges». *Climate Policy*, 13, p. 6-22.
- KHARAS, H.; GERTZ, G. (2010). «China's emerging middle class: beyond economic transformation». A: *The new global middle class: A cross-over from west to east*. Brookings Institution Press, 2010.
- MASANET, E. (2010) «Energy benefits of electronic controls at Small and Medium sized US Manufacturers». *Journal of Industrial Ecology*, 14, p. 696-702.
- NISSAN (2010). *Life cycle CO₂ emissions of electric vehicle Nissan LEAF LCA and a comparable gasoline vehicle*. Langenfeld (Rin del Nord-Westfàlia). TÜV Rheinland.
- OCCC = OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2015). *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH)* [en línia]. <http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes_i_comunicacio/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Guies_calcul_emissions_GEH/150301_Guia-practica-calcul-emissions_sense-canvis_CA_v2.pdf> [Consulta: 31 març 2016].
- UNFCCC = UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (2015). *United Nations Framework Convention on Climate Change. Conference of the Parties, Twenty-first session*. París, 12 desembre 2015.
- US Department of Energy (2004). *Waste heat reduction and recovery for improving furnace efficiency productivity and emissions performance: A best practices process heating technical brief*. Washington DC: US Department of Energy.
- ZAELEKE, D.; MOLINA, M.; RAMANATHAN, V. (2014). «As Climate impacts accelerate, speed of mitigation becomes key». *Huffington Post*.

16 Turisme

Autors

Rosa Maria Fraguell Sansbelló

M. Belén Gómez Martín

Joan Carles Llurdés Coit

Carolina Martí Llambrich

Anna Ribas Palom

David Saurí Pujol

Rosa Maria Fraguell Sansbelló és doctora en geografia per la Universitat Autònoma de Barcelona. Desenvolupa la seva activitat de recerca i docència com a professora Titular al Departament de Geografia de la Universitat de Girona (UdG). És membre de l'Institut de Medi Ambient i del grup de recerca Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge de la UdG. Les seves línies de recerca estan relacionades amb l'àmbit de l'anàlisi territorial del turisme i, més concretament, en el disseny d'estratègies per a la gestió integrada dels recursos i el desenvolupament sostenible de les destinacions turístiques, especialment les litorals. Ha participat en diferents projectes de recerca finançats per entitats públiques (UE, MCYT i administracions regionals i locals) i per entitats privades. És autora de diverses publicacions sobre turisme i medi ambient en llibres i revistes científiques internacionals, com *Journal of Sustainable Tourism*, *Ocean & Coastal Management* i *Journal of Coastal Research*.

M. Belén Gómez Martín és doctora en geografia per la Universitat de Barcelona, i ha obtingut el Premi Extraordinari de Doctorat i el Premi Extraordinari de Llicenciatura. Desenvolupa la seva activitat de recerca i docència com a professora agregada al Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional de la Universitat de Barcelona. La seva recerca s'ha centrat en l'estudi de les relacions entre

el turisme, el clima i el canvi climàtic, i en l'anàlisi de la sensibilització del sector turístic en relació amb la integració de criteris de sostenibilitat, examinant el paper que juga el turisme en el foment del desenvolupament sostenible en l'àmbit local i regional. És membre del Grup de Recerca Consolidat ANTERRIT, ha dirigit diversos projectes de recerca competitius finançats per entitats públiques, i és autora de nombroses publicacions en revistes científiques internacionals, com *Annals of Tourism Research*, *Climate Research*, *International Journal of Biometeorology*, *Geografiska Annaler* i *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*.

Joan Carles Llurdés Coit és doctor en geografia humana per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Imparteix docència al Departament de Geografia de la UAB, a l'Escola Universitària de Turisme i Direcció Hotelera (UAB) i a la Universitat Oberta de Catalunya. La seva docència es relaciona amb la cartografia, l'economia, la planificació del turisme i la gestió del turisme cultural, i la seva recerca se centra en la planificació del turisme, els conflictes territorials, la reconversió turística del patrimoni industrial i miner, i el turisme i el canvi climàtic. Ha participat en projectes amb finançament públic i també ha publicat articles en revistes d'àmbit nacional i internacional, com *Annals of Tourism Research*, *Estudios Turísticos*, *Anales de Geografía de la UCM*, *Boletín de la AGE*,

Journal of Environmental Planning and Management, Environmental Hazards, Land Use Policy, Cuadernos de Turismo, Documents d'Anàlisi Geogràfica i Regional Environment Change. També ha col·laborat en diverses obres col·lectives, i en el *Primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* i el *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*.

Carolina Martí Llambrich és doctora en geografia en l'especialitat d'ordenació del territori i gestió del medi ambient per la Universitat de Girona (UdG). Ha obtingut el Premi Extraordinari de Doctorat i és especialista en sistemes d'informació geogràfica. Desenvolupa la seva activitat de recerca i docència com a professora agregada al Departament de Geografia de la UdG. És membre de l'Institut de Medi Ambient i del grup de recerca Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (UdG). Les seves investigacions aglutinen la transformació del paisatge costaner, el desenvolupament turístic sostenible i el disseny d'estratègies per a la gestió integrada de zones costaneres, especialment les platges. Ha participat en projectes de recerca competitiu finançats per entitats públiques (UE, MCYT, MEC, AEI i administracions regionals i locals) i també ha publicat articles en revistes d'àmbit nacional i internacional, com ara *Documents d'Anàlisi Geogràfica, Environmental Management, Ocean & Coastal Management, Journal of Coastal Research* i *Journal of Sustainable Tourism*.

Anna Ribas Palom és doctora en geografia humana per la Universitat Autònoma de Barcelona, i duu a terme la seva activitat de recerca i docència com

a professora titular al Departament de Geografia de la Universitat de Girona (UdG). És responsable del grup de recerca Medi Ambient i Tecnologies de la Informació Geogràfica de la UdG i investigadora del Grup de Recerca en Aigua, Territori i Sostenibilitat (GRATS). Les seves línies de recerca giren al voltant de l'anàlisi i la gestió dels riscos naturals (especialment, les inundacions) i la gestió de l'aigua en els espais turístics. Ha participat en diversos projectes d'investigació finançats per entitats públiques (UE, MINECO i ACA) i és autora de diverses publicacions en revistes científiques internacionals de prestigi com *Urban Water Journal, Water International, Applied Geography, Natural Hazards and Earth System Sciences* i *Disasters*.

David Saurí Pujol és llicenciat en filosofia i lletres per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i doctor en geografia per la Universitat de Clark (EUA). Actualment, és membre del Departament de Geografia i de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la UAB i ha estat director del Centre d'Estudis Ambientals de la mateixa universitat (2000-2003). Ha publicat més d'un centenar de treballs sobre riscos naturals i tecnològics, planejament i gestió de recursos hídrics i canvi global i canvi d'usos del sòl en espais mediterranis, i ha dirigit una vintena de tesis doctorals. La seva recerca ha estat finançada per la Unió Europea, la CICYT espanyola, el DURSI i diverses fundacions privades. L'any 2007 fou guardonat amb el Premi de Medi Ambient de l'Institut d'Estudis Catalans i la Fundació Caixa Sabadell. És membre de l'Acadèmia Europea.

Sumari

Síntesi	386
16.1. Introducció	387
16.1.1. Evolució del coneixement en turisme i canvi climàtic (2010-2015)	387
16.1.2. Sinopsi del turisme a Catalunya en els darrers anys	387
16.2. Impactes dels escenaris climàtics de futur sobre el sector turístic a Catalunya...388	
16.2.1. El turisme de sol i platja.....	388
16.2.1.1. Efectes de les projeccions climàtiques sobre la potencialitat climaticoturística	388
16.2.1.2. Efectes de l'augment del nivell del mar i l'erosió costanera sobre la potencialitat del confort turístic: disponibilitat suficient de superfície de platja per a la funció recreativa	390
16.2.1.3. Efectes de les projeccions climàtiques (precipitacions) sobre la potencialitat de la disponibilitat del recurs aigua en el turisme de litoral	392
16.2.2. El turisme de neu	393
16.2.2.1. Evidències recents en el turisme de neu	393
16.3. Evolució en l'aplicació d'estratègies d'adaptació	396
16.3.1. El turisme de sol i platja.....	396
16.3.1.1. Desestacionalització i diversificació d'activitats turístiques....	396
16.3.1.2. Preservació costanera	397
16.3.1.3. Estalvi d'aigua, ús d'aigües no convencionals i estratègies d'increment de l'oferta d'aigua.....	397
16.3.2. El turisme de neu	398
16.3.2.1. Increment de la capacitat de fabricació de neu artificial i dels dominis esquiables	398
16.3.2.2. Desestacionalització i diversificació de l'oferta: la transició d'estacions d'esquí a estacions de muntanya.....	399
16.4. Evolució en l'aplicació d'estratègies de mitigació a Catalunya	400
16.5. Conclusions	403
16.6. Recomanacions	404
16.6.1. Generals	404
16.6.2. Turisme de sol i platja.....	404
16.6.3. Turisme de neu	405
Referències bibliogràfiques	405

Síntesi

Les recerques d'àmbit internacional sobre turisme i canvi climàtic demostren l'interès creixent que aquesta relació suscita. I, a Catalunya, on el turisme és un sector estratègic a l'alça, és necessari conèixer com afectaran els escenaris climàtics de futur els dos principals sectors turístics: el turisme de sol i platja i el turisme de neu. En aquest treball s'han analitzat els efectes de les projeccions climàtiques sobre la potencialitat climaticoturística; els efectes de l'augment del nivell del mar i l'erosió costanera sobre la disponibilitat de superfície de platja per a la funció recreativa, i els efectes sobre la disponibilitat del recurs de l'aigua en les zones costaneres, ateses les prediccions de reducció de precipitacions. Per al turisme de neu, mitjançant l'avaluació dels efectes del canvi climàtic en tres escenaris, s'estudia la viabilitat natural i tècnica de les actuals estacions d'esquí catalanes. I, com a resposta a les problemàtiques plantejades, es repassen, primer, les estratègies d'adaptació aplicades i, després, la implantació d'estratègies i de mesures de mitigació.

El turisme de sol i platja és altament sensible i dependent del temps meteorològic i del clima. Diferents modelitzacions conclouen que el litoral català seguirà gaudint de condicions atmosfèriques favorables per a mantenir la seva competitivitat en el mercat de sol i platja; tanmateix, la desestacionalització i la diversificació d'activitats i productes turístics és una de les estratègies fonamentals d'adaptació al canvi climàtic.

La generalitzada tendència erosiva de les platges catalanes, juntament amb la forta pressió de la demanda recreativa, disminueix la satisfacció de l'usuari i fa perillar la perdurabilitat del recurs. La construcció de dics de defensa, la regeneració de

sorres i les restauracions dels sistemes dunars són actuacions dures i toves desenvolupades per a l'estabilització de les platges.

Assegurar la disponibilitat d'aigua, tant en quantitat com en qualitat, esdevé fonamental per al desenvolupament de les pràctiques turístiques. La combinació d'actuacions com la dessalinització, la reutilització, la recuperació d'aqüífers, la interconnexió de xarxes i la millora de l'eficiència, impulsades des de l'Administració, s'ha d'acompanyar de mesures d'eficiència hídrica per part del mateix sector turístic i dels turistes.

Les àrees de muntanya de Catalunya són especialment vulnerables als efectes del canvi climàtic, atesa la situació latitudinal de gairebé totes les estacions en cotes límit per a la seva viabilitat futura. En el turisme de neu, les mesures d'adaptació es dirigeixen a augmentar la capacitat de fabricació de neu artificial amb canons, la qual incrementa el nombre de pistes innivades i l'àrea esquiable, tot i que no es tendeix a la unió d'estacions ni dels seus dominis esquiables. Per a potenciar la desestacionalització de l'oferta hivernal, es proposa la transició d'estació d'esquí a estació de muntanya, amb una àmplia oferta d'activitats que no requereixin la neu.

El sector turístic mateix respon de diferents maneres als efectes del canvi climàtic. A Catalunya tenim mostres d'hotels, càmpings, ports esportius, etc., que apliquen mesures d'estalvi i d'eficiència energètica, i de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, entre d'altres accions, gràcies a la implantació de certificacions ambientals.

Paraules clau

turisme de sol i platja, turisme de neu, confort climaticoturístic, mesures d'adaptació, mesures de mitigació

16.1. Introducció

16.1.1. Evolució del coneixement en turisme i canvi climàtic (2010-2015)

Els cinc anys passats des del darrer informe (SICCC, *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*) han vist una expansió i consolidació de la recerca internacional sobre turisme i canvi climàtic. Pel que fa a les publicacions periòdiques, els articles d'aquesta temàtica són ja habituals en revistes de recerca de turisme de prestigi, com *Annals of Tourism Research*, *Tourism Management* i *Journal of Sustainable Tourism*; amb una certa regularitat es publiquen estats de la qüestió (Kajan *et al.*, 2013) i se segueixen desenvolupant metodologies d'estimació d'impactes del canvi climàtic i variables climàtiques, en general sobre el turisme (Rosselló, 2014). Cal afegir, com a tret destacat dels darrers anys, l'arribada a l'àmbit del turisme de l'argument «negacionista»; així, dos autors israelians publicaven un article on criticaven l'adopció acrítica, per part d'especialistes en canvi climàtic i turisme, d'escenaris pessimistes, sense considerar altres possibles opcions (Shani *et al.*, 2014). La reacció dels més reconeguts especialistes en turisme i canvi climàtic no es va fer esperar: C. Michael Hall i una quarantena d'investigadors més (Hall *et al.*, 2015) signaven un treball acusant els anteriors autors d'ignorar l'evidència científica.

Altrament, la publicació de monografies sobre turisme i canvi climàtic a escala internacional continua sent molt activa, amb almenys una dotzena de títols apareguts des del darrer informe. Autors de referència continuen publicant sobre les relacions entre turisme, adaptació i mitigació, mentre que noves destinacions turístiques com les àrees polars comencen a ser objecte de monografies específiques (Hall *et al.*, 2015).

16.1.2. Sinopsi del turisme a Catalunya en els darrers anys

En els darrers anys, Catalunya ha aconseguit mantenir la seva posició de privilegi i lideratge turístics, tant en el mercat espanyol com en l'europeu, de la qual ja es parlava a l'anterior informe (figura 16.1). Les xifres de l'evolució del turisme estranger mostren una tendència creixent (de 13,1 milions de turistes el 2010 a 16,8 milions de turistes el 2014) i una quota de participació estatal del sector del 25-26 %; de fet, és la comunitat autònoma que més turisme estranger capta de tot l'Estat espanyol i això ha servit per a compensar la disminució del turisme nacional (de 4,5 milions de turistes el 2010, a 4,1 milions de turistes el 2014) i l'estancament del turisme català (16,5 milions de turistes el 2010 i el 2014). Catalunya segueix captant els mercats europeus tradicionals (França, el Regne Unit, Alemanya, Itàlia, els Països Baixos i Bèlgica), tot i que en termes de des-

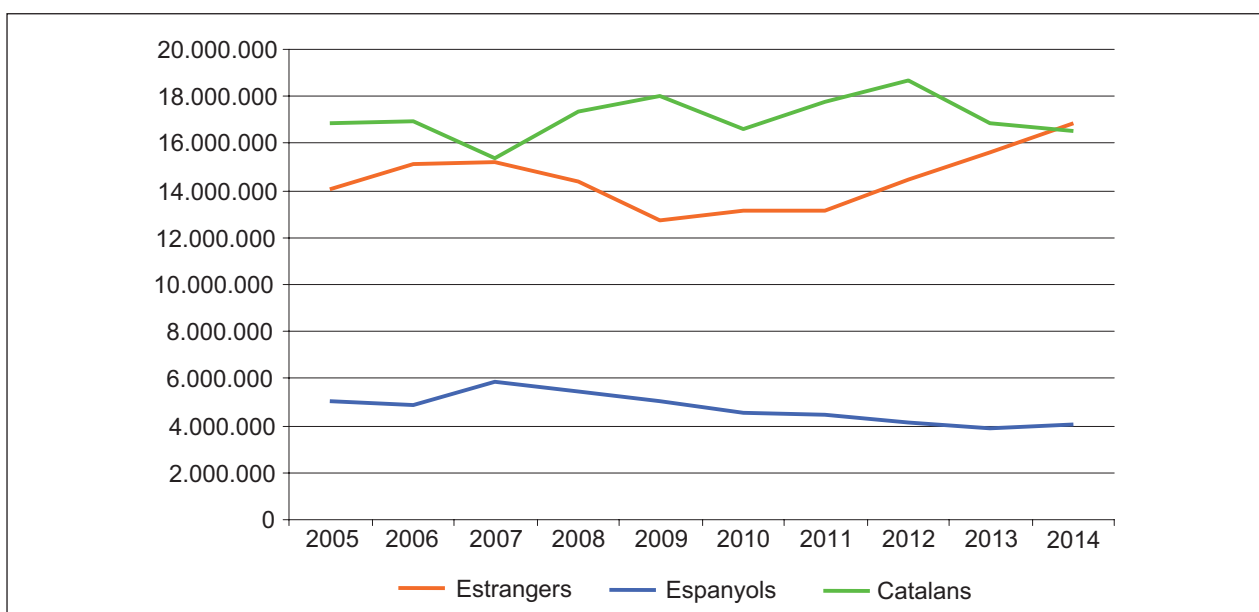


FIGURA 16.1. Nombre de viatges dels turistes amb destinació a Catalunya (2005-2014).

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'Observatori d'Empresa i Ocupació i de l'IET.

pesa mitjana per turista cal destacar els BRICS (el Brasil, Rússia, l'Índia, la Xina i Sud-àfrica), el Japó i els Estats Units.

Tot plegat, amb una capacitat d'allotjament que supera els 6.200 establiments i les 760.000 places, i amb més de 71,9 milions de pernотacions (2014), el turisme genera el 12 % del producte interior brut (PIB) català i el 15 % de l'ocupació. Això fa que el turisme continuï sent el sector que més ha crescut els darrers decennis i el que més bé resisteix els períodes de crisi i estancament econòmic. En síntesi, el turisme ja fa temps que ha esdevingut un sector estratègic i, consegüentment, continua sent un component clau de l'economia catalana.

16.2. Impactes dels escenaris climàtics de futur sobre el sector turístic a Catalunya

16.2.1. El turisme de sol i platja

16.2.1.1. Efectes de les projeccions climàtiques sobre la potencialitat climaticoturística

El comportament dels turistes està influït, entre d'altres factors, pels meteors. El grau d'influx és determinat per la major o menor sensibilitat de la modalitat turística practicada envers el temps meteorològic i el clima, en general, i/o cap a determinats elements atmosfèrics, en particular. El turisme de sol i platja es configura com una de les modalitats amb un grau més alt de sensibilitat respecte al temps meteorològic i al clima, i hi ha una clara relació entre la freqüentació turística en determinades regions costaneres i insulars i les seves respectives aptituds atmosfèriques. A una escala més fina, diversos estudis han constatat que el grau de densitat d'ús de les platges està controlat, principalment, per la temperatura màxima i la insolació (Freitas, 2015; Gómez *et al.*, 2012). Aquestes i altres contribucions també han posat de manifest el contrast existent entre les «preferències» atmosfèriques manifestades pels turistes per a la pràctica del turisme de sol i platja i el «comportament» real d'aquests, i s'han evidenciat llindars de tolerància considerables, sobretot pel que fa a les temperatures i als índexs de confort (Gómez *et al.*, 2014a; Rutty *et al.*, 2010).

En aquest sentit, i tenint en compte els escenaris climàtics de futur, el manteniment d'aquest particular comportament dels turistes de sol i platja en relació amb les condicions atmosfèriques, podria actuar minimitzant la magnitud dels impactes negatius sobre la modalitat.

Segons el comportament manifestat pels turistes de sol i platja a les costes del litoral mediterrani espanyol, les condicions atmosfèriques més adequades per a la pràctica de l'activitat i que, per tant, garanteixen una plena densitat d'ús de les platges són: temperatura màxima entre 28,8 i 31 °C, temperatura fisiològica equivalent (PET) màxima entre 34,5 i 38,8 °C, percentatge de radiació solar a les 13 h almenys d'un 50 %, velocitat del vent a les 13 h inferior a 8 m/s —com a màxim menor a 10 m/s— i precipitacions inexistents, o, com a molt, inferiors a 1 mm/dia o amb una durada menor de 60 minuts (Gómez *et al.*, 2012). Si es pren el llindar 28,8 °C, que garanteix una ocupació del 100 %, i s'aplica sobre diverses sèries de temperatura màxima diària del litoral català derivades del model BNU-ESM de la CMIP5, d'acord amb l'escenari RCP4.5 (períodes 2006-2020 i 2021-2050), es poden observar futurs increments en el nombre de dies òptims per a la pràctica de l'activitat, amb valors que, en ocasions, dupliquen els del període històric de referència 1971-2000 (taula 16.1). Els resultats són encara més favorables si s'aplica sobre les esmentades sèries el llindar relatiu al valor mínim de la temperatura màxima diària per densitats d'almenys una ocupació igual al 50 %, que és de 18,7 °C. De fet, si s'utilitza aquest límit per establir la durada dels calendaris d'aptitud (figura 16.2) s'observa no solament la notable durada de la temporada, sinó també la progressiva ampliació d'aquesta per tots dos extrems del període estival, fet que podria garantir en un futur —almenys, des del punt de vista atmosfèric— el possible manteniment de l'activitat.

A fi de determinar la possible pèrdua de confort climàtic per excés de calor durant el dia, s'aplica de nou sobre les esmentades sèries de temperatura màxima diària el llindar dels 33 °C. Aquest valor correspon al punt en què l'organisme corre el risc de no poder transmetre calor sensible al medi exterior. Els resultats assenyalen que tan

TAULA 16.1. Valors resultants de l'aplicació de diversos llindars d'interès climaticoturístic sobre diferents sèries de temperatura màxima i mínima diària derivades del Model BNU-ESM de la CMIP5, d'acord amb l'escenari RCP4.5

Nombre de dies amb temperatura mitjana de les màximes igual o superior a 28,8 °C			
	1971-2000	2006-2020	2021-2050
Figueres (40 m)	31	51	57
Barcelona-Fabra (412 m)	21	35	51
Badalona (38 m)	0	20	32
Reus, Centre de Lectura (138 m)	40	55	72
el Perelló (142 m)	61	74	95
Nombre de dies amb temperatura mitjana de les màximes igual o superior a 18,7 °C			
	1971-2000	2006-2020	2021-2050
Figueres (40 m)	196	205	214
Barcelona-Fabra (412 m)	155	179	183
Badalona (38 m)	184	201	203
Reus, Centre de Lectura (138 m)	204	214	231
el Perelló (142 m)	215	221	237
Nombre de dies amb temperatura mitjana de les màximes igual o superior a 33 °C (excés de calor)			
	1971-2000	2006-2020	2021-2050
Figueres (40 m)	0	0	0
Barcelona-Fabra (412 m)	0	0	0
Badalona (38 m)	0	0	0
Reus, Centre de Lectura (138 m)	0	0	0
el Perelló (142 m)	0	12	28
Nombre de dies amb temperatura mitjana de les mínimes igual o superior a 20 °C (nits tropicals)			
	1971-2000	2006-2020	2021-2050
Figueres (40 m)	8	34	47
Barcelona-Fabra (412 m)	29	47	56
Badalona (38 m)	62	82	87
Reus, Centre de Lectura (138 m)	61	77	92
el Perelló (142 m)	30	52	71

Font: Elaboració pròpia a partir de dades i projeccions climàtiques obtingudes de l'AEMET.

sols a l'extrem sud de Catalunya es registrarà, respecte al període de referència, una pèrdua de confort climàtic per excés de calor al centre de l'estiu (taula 16.1 i figura 16.2). De la mateixa manera, a fi de determinar la possible pèrdua de confort climàtic durant la nit, s'aplica sobre les sèries de temperatura mínima diària derivades del model BNU-ESM de la CMIP5, d'acord amb l'escenari RCP4.5 (per als períodes 2006-2020 i

2021-2050), el llindar dels 20 °C. Els valors preveuen una disminució del confort tèrmic durant les nits d'estiu, respecte al període de referència, comparativament de major magnitud que la manifestada per al període diürn (taula 16.1).

Si s'avalua de manera integral la potencialitat climaticoturística de les costes catalanes per a la pràctica del turisme de sol i platja, aquest cop,

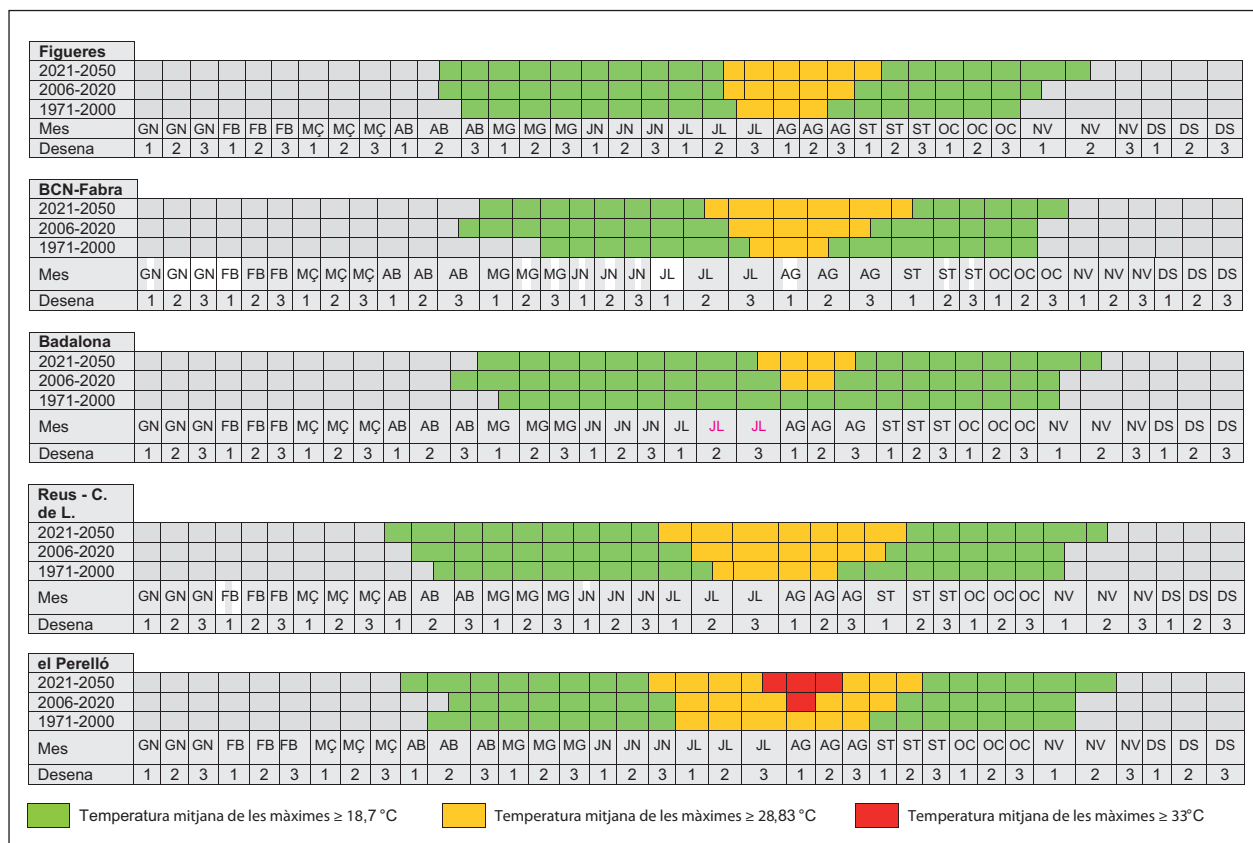


FIGURA 16.2. Calendaris de potencialitat climaticoturística per a la pràctica del sol i platja.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades i projeccions climàtiques obtingudes de l'AEMET.

segons les preferències dels turistes i d’acord amb la utilització d’índexs climaticoturístics calibrats per a la modalitat (com ara el BCI de Morgan i el C-TCI, que tenen en compte tant temperatures com precipitació, insolació, velocitat del vent i humitat), s’obtenen conclusions similars a les assenyalades anteriorment. Els resultats derivats de l’aplicació de diferents models, per a escenaris moderats d’emissions del quart informe de l’IPCC (Grup Intergovernamental d’Experts en Canvi Climàtic), assenyalen de manera coincident que, en el litoral català, les condicions atmosfèriques seguiran sent favorables dins el context regional (figura 16.3), tot i que els valors estivals en els índexs d’aptitud seran lleugerament més baixos que els actuals (Moreno *et al.*, 2009; Moreno *et al.*, en revisió). De totes maneres, cal considerar que la millora de la potencialitat climaticoturística estival, a les costes del nord de la península Ibèrica i també del nord del continent europeu, podrien fer sorgir (o ressorgir) noves destinacions competidores, almenys des del punt de vista atmosfèric.

16.2.1.2. Efectes de l’augment del nivell del mar i l’erosió costanera sobre la potencialitat del confort turístic: disponibilitat suficient de superfície de platja per a la funció recreativa
La Llei 13/2002, del 21 de juny, de turisme de Catalunya, considera el conjunt del litoral, i especialment les platges, un recurs turístic essencial per a promocionar Catalunya com a destinació turística. En aquest context, i per a garantir la sostenibilitat del turisme de sol i platja, cal conèixer la tendència entre la disponibilitat del recurs platja i la demanda recreativa potencial.

Tal com detalla el *Llibre verd de l’estat de la zona costanera a Catalunya* (2010), tot i que els processos de transferència de sediments varien al llarg de la costa, i que hi ha platges que experimenten processos d’acreció, la tendència evolutiva de l’extensió de platges del litoral català és clarament erosiva. En el sector gironí, la morfologia de platges encaixades limita la intensitat de la dinàmica litoral i, en aquestes, les taxes d’erosió són molt baixes, mentre que les responsables de crear un balanç

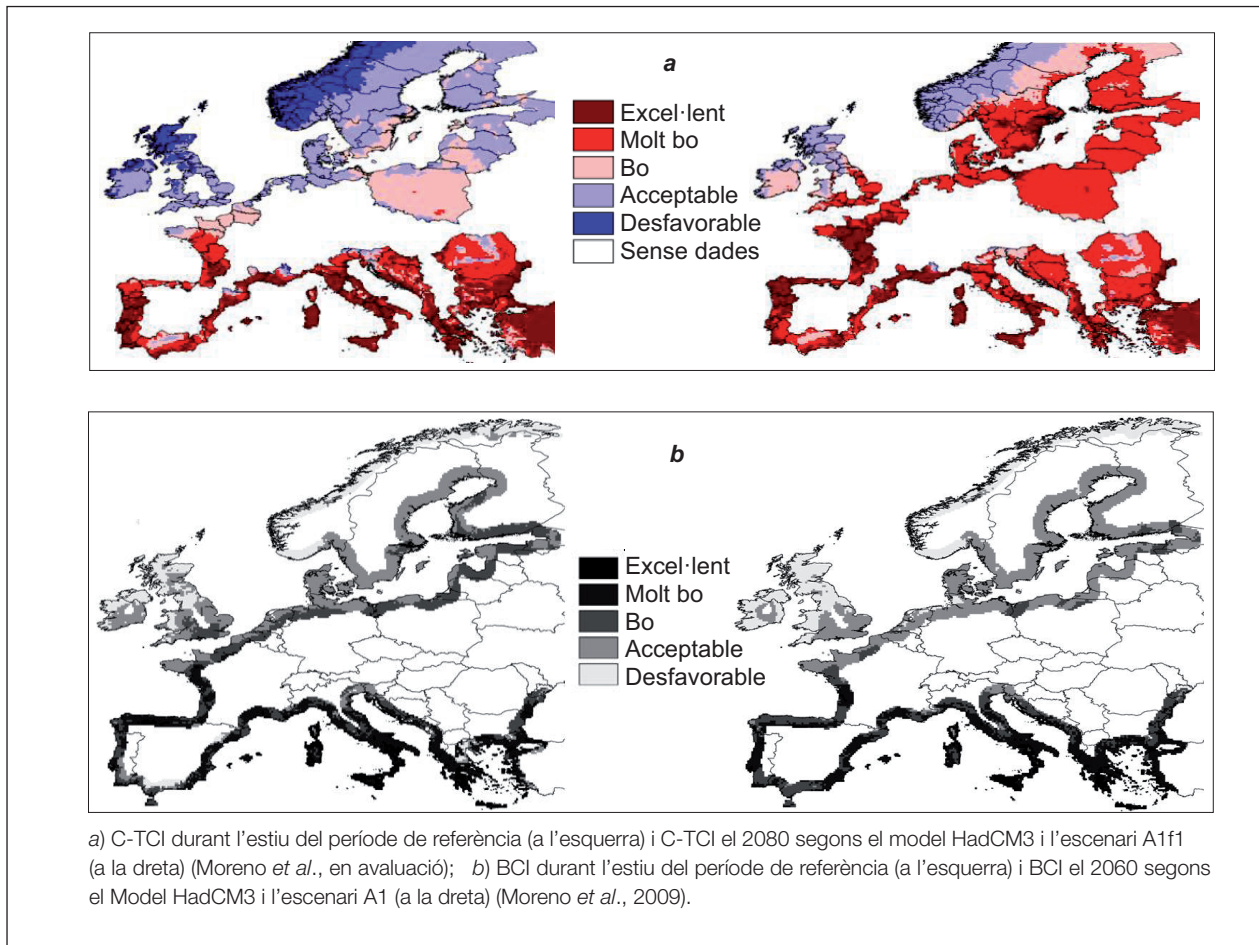


FIGURA 16.3. Potencialitat climaticoturística segons els índexs C-TCI i BCI de Morgan.

sedimentari negatiu són les platges de les grans badies de Roses i Pals i, en la desembocadura de la Tordera, la platja de s'Abanell. Les platges del litoral barceloní amb problemes més grans de pèrdua de sediment es localitzen al Maresme, aigües avall del port d'Arenys i fins a Barcelona. Al sud del port de Barcelona, el canvi d'orientació de la costa i una morfologia de platges més curtes i més encaixades entre obstacles laterals generen una menor pèrdua sedimentària. En el litoral taragoní, el delta de l'Ebre és la zona de dinamisme erosiu i d'acreció més important, amb grans volums de transferència sedimentària; finalment, existeixen també altres platges erosives que, amb una disposició oberta, s'estenen des de Cubelles a Vila-seca.

Les zones més afectades sempre es troben al sud dels ports esportius. En contraposició, a llevant de cada port, apareixen platges que experimenten un avanç significatiu per acumulació de sediments.

L'anàlisi detallada i actualitzada de la dinàmica evolutiva de les platges de cinc municipis costaners, repartits al llarg de la costa catalana, representatius del turisme de sol i platja i amb una dinàmica sedimentària activa, evidencia el manteniment del seu comportament regressiu per al període 2007-2014, sobretot en els sectors amb morfologia de platges llargues (Roses, -11,5 %; Lloret de Mar, -8,28 %; Santa Susanna, -2,16 %; Cunit, -1,52 %; Cambrils, -7,90 %). Aquesta tendència es corrobora al capítol 8, «Sistemes costaners i dinàmica litoral», en què els autors estableixen una major vulnerabilitat futura de les platges al llarg del litoral català, i també es constata pels resultats obtinguts del projecte *Cambio climático en la costa española (C3E)*, en el qual es preveu un retrocés de la línia de costa del litoral català a l'entorn d'1,5 m (Losada *et al.*, 2014).

Aquesta disminució continuada del recurs platja, unida a l'augment de l'oferta turística i de la de-

manda recreativa potencial, poden fer perillar la satisfacció de la pràctica del bany i, consegüentment, la competitivitat de l'activitat turística. Per a avaluar aquest risc, s'han analitzat amb detall les platges de dos municipis, Roses i Cambrils, posant en relació la CCP (capacitat de càrrega psicològica), d'acord amb la superfície de repòs i la tipologia de cada platja, amb la DRP (demanda recreativa potencial) (taula 16.2). Gràcies a l'amplària de les platges de Roses, la pèrdua sedimentària fa que l'àrea de repòs es traslladi cap a l'interior, sense afectar, de moment, la CCP de la platja. Altrament, la demanda recreativa potencial ha augmentat, bàsicament, a causa del creixement poblacional (8,05 %) i l'augment de places de càmping (19,94 %).

La tendència regressiva de les platges de Cambrils es manté també en aquests darrers anys (-7,90 %). D'altra banda, la demanda recreativa potencial augmenta substancialment a causa del creixement poblacional (14,39 %), però sobretot per l'increment de places hoteleres (40,75 %), el qual minimitza l'efecte de pèrdua de places de càmping (-16,44 %).

La tendència regressiva de l'extensió de platges i el constant augment de l'oferta turística demostra la situació contradictòria en què es troben la majoria de municipis costaners catalans. No existeixen polítiques reguladores que ajustin les capacitats d'ús de la platja i la seva oferta turística. Dels casos estudiats es dedueix que, tot i la situació de pèrdua sedimentària, s'incrementa la pressió turisticorecreativa, la qual comporta, a llarg termini, la progressiva disminució de la satisfacció de l'usuari.

16.2.1.3. Efectes de les projeccions climàtiques (precipitacions) sobre la potencialitat de la disponibilitat del recurs aigua en el turisme de litoral

Des del punt de vista de la disponibilitat del recurs, la majoria de modelitzacions climàtiques coincideixen en una reducció de les precipitacions a Catalunya, sobretot a l'estiu i a la tardor. Amb tot, el nivell d'incertesa entorn de les precipitacions continua sent força elevat, des del moment que alguns models més recents (AEMET, 2015) apunten que les precipitacions patiran pocs canvis, i fins i tot que a Catalunya poden experimentar un lleuger augment en l'horitzó 2100.

L'aigua és fonamental per a les activitats econòmiques, i el turisme no n'és una excepció. Per tant, assegurar la disponibilitat d'aquest recurs, tant en quantitat com en qualitat, esdevé primordial per al sector turístic. Els turistes necessiten aigua per a atendre les seves necessitats bàsiques, però també per a la pràctica d'activitats esportives, d'oci o salut, com la natació, el golf o l'esbarjo en parcs aquàtics o balnearis (Gössling *et al.*, 2012). També l'aigua és un recurs turístic, des del moment que esdevé un element central del paisatge visitat pels turistes, des dels mateixos jardins i espais verds d'hotels i càmpings fins als espais naturals litorals com aiguamolls i ambients fluvials.

Les restriccions d'aigua o la mala qualitat d'aquesta poden afectar negativament la imatge i la competitivitat de les destinacions, tal com testimonien les recents crisis hídriques patides per Benidorm (Saurí *et al.*, 2013) i Mallorca (Kent *et al.*, 2002), fet que va provocar que l'arribada de visitants a aquestes destinacions fos menor.

TAULA 16.2. Evolució de la pressió recreativa de les platges de Roses i Cambrils (2007-2014)

		2007	2014	Percentatge de variació
Roses	Capacitat de càrrega psicològica (CCP)	29.911,39	30.114,09	0,68
	Demanda recreativa potencial (DRP)	75.301,30	77.228,10	2,56
	DRP/CCP	2,52	2,56	1,87
Cambrils	Capacitat de càrrega psicològica (CCP)	73.279,83	57.589,00	-21,41
	Demanda recreativa potencial (DRP)	90.223,70	97.069,60	7,59
	DRP/CCP	1,23	1,68	36,89

Font: Elaboració pròpia a partir de les ortoimatges de l'ICGC.

Tot i que els efectes del canvi climàtic sobre la disponibilitat d'aigua en quantitat i qualitat suficients són complexos i de diversa incidència, es poden identificar alguns dels principals aspectes que afectaran l'oferta i la demanda d'aigua per a usos vinculats al sector turístic del litoral català. És previsible que les principals fonts d'abastament d'aigua convencionals del litoral disposaran de menys aigua, i segurament serà de menor qualitat. Així ho van indicant tant els estudis basats en observacions de les tendències seguides en la reducció del cabal en aquells rius que, com el Ter, el Llobregat, la Muga o l'Ebre són les principals fonts d'abastament dels municipis turístics litorals, com aquells altres que, a partir de projeccions del canvi climàtic, preveuen disminucions d'entre el 30 % i el 50 % a la tardor i l'estiu a les acaballes del segle XXI en el cabal de rius com el Fluvià, la Tordera i el Siurana (Marquès *et al.*, 2013; Pascual *et al.*, 2014). La reducció de l'oferta d'aigua subterrània pot afectar especialment les reserves disponibles als aqüífers costaners (l'altra gran font de subministrament d'aigua al sector turístic litoral) a causa de la intrusió marina, fet que agreujaria una situació que ja ha comportat i/o comporta problemes d'abastament en alguns nuclis i equipaments turístics, com seria el cas dels aqüífers dels sistemes Fluvià-Muga, Baix Ter i Tordera. Per tots aquests motius, cal esperar una disminució de la disponibilitat d'aigua en el sector turístic litoral que podria ser important.

Des del punt de vista de la demanda, els principals efectes del canvi climàtic sobre l'augment del consum d'aigua derivaran de l'increment mitjà de les temperatures. Bé sigui de manera directa, a través de més demanda d'aigua per a la higiene personal, per al reg de jardins i zones verdes, per a un més bon ús d'instal·lacions com ara piscines i parcs aquàtics, i per al consum de boca, bé sigui de manera indirecta, a través de l'increment del consum de fruita i verdura, begudes refrescants, etc., com a conseqüència d'una major necessitat d'hidratació. Cal tenir present, a més, que aquest augment de la demanda hídrica es pot allargar cap a èpoques de l'any com la primavera i la tardor. I, alhora, el model urbà dispers dominant en els darrers anys en molts d'aquests espais turístics del litoral català afavoreix un consum més elevat d'aigua (més zones enjardinades i piscines) enfront del model urbanístic vertical (Rico-Amorós *et al.*, 2009).

En definitiva, tot apunta que la interrelació dels factors de demanda i d'oferta d'aigua d'abastament poden provocar una menor garantia dels recursos totals disponibles, o una dificultat més gran i costosa per a obtenir-los en quantitat i qualitat suficients. D'aquí que és molt probable que s'agreugin les tensions i els conflictes entre el sector turístic i els altres usuaris de l'aigua, a l'hora d'assignar prioritats en moments d'escassetat hídrica.

16.2.2. El turisme de neu

16.2.2.1. Evidències recents en el turisme de neu

En els darrers anys es continua constatant com les àrees de muntanya són especialment vulnerables als efectes del canvi climàtic. Malgrat que aquest és un factor més dels que incideix en el turisme hivernal, la presència o l'absència de neu, el gruix del mantell nival i la seva durada són indicadors clau per a valorar la viabilitat i la sostenibilitat del sector del turisme d'hivern. Per aquest motiu, l'avaluació dels efectes del canvi climàtic, tant en la cobertura natural com en la capacitat de producció de neu, és fonamental per a valorar els impactes socioeconòmics a les àrees de muntanya, en les quals, en molts casos, l'esquí ha passat a ser el motor principal de les economies locals. A Catalunya, i arran dels treballs de Pons (2014), disposem, per primera vegada, de models sistemàtics per a establir la viabilitat natural i tècnica de les estacions d'esquí dels Pirineus, a partir de quatre consideracions principals:

- La consideració de tres escenaris: un d'actual, representat per la temporada mitjana present, i dos més d'increment de la temperatura (+2 °C i +4 °C, respectivament).
- La viabilitat natural, a partir del criteri generalment acceptat que una estació és viable si disposa d'una cobertura d'almenys 30 cm de neu durant un mínim de 100 dies per temporada.
- La viabilitat tècnica, o la capacitat de fabricar neu en els tres escenaris citats.
- Finalment, una classificació de les estacions d'esquí, depenent de quina en sigui la vulnerabilitat en tres nivells (alta, baixa i resilient).

La taula 16.3 mostra la viabilitat natural i tècnica de les estacions d'esquí catalanes. En relació amb la primera, hi ha tres estacions que no serien

viabls en cap dels escenaris analitzats (Espot, Port-Ainé i Port del Comte), mentre que en l'escenari d'un increment més alt de les temperatures, totes deixarien de ser-ho, tret de Baqueira-Beret. En canvi, no es constata cap diferència entre els dos primers escenaris. En general, i per a l'àrea del Pirineu, les estacions més vulnerables seran les de menys altitud i amb predomini de pistes amb una orientació sud. Pel que fa a la viabilitat tècnica, i tenint en compte que el canvi climàtic no solament afectarà el nombre de dies amb neu natural sinó també el nombre de dies amb les condicions mínimes necessàries per a fabricar neu, els resultats no mostren variacions gaire espectaculars: totes les estacions serien viabls en el primer escenari, mentre que en el segon deixarien de ser-ho les mateixes que no ho eren abans, i en el tercer, de nou, Baqueira-Beret seria l'única que se'n «salvaria».

En el segon escenari, la fabricació de neu es perfila com l'estratègia que contribuiria a millorar notablement la durada de la temporada d'esquí a moltes estacions catalanes. Per contra, a l'escenari de +4 °C la viabilitat d'aquesta estratègia quedaria reduïda significativament per la limitació que comportaria aquest augment de la temperatura de cara

a una producció eficient de neu i, per tant, l'efecte d'aquesta estratègia seria molt residual.

Per a complementar aquesta visió podem esmentar dades del *Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI* (Servei Meteorològic de Catalunya, 2011). En primer lloc, té en compte tres escenaris: un de greu (A2), un de moderat (B1) i un tercer d'intermedi (A1B), i en tots tres, els Pirineus és la zona de Catalunya que patiria canvis més importants. En segon lloc, els resultats obtinguts, pel que fa a la disminució general de les precipitacions, no són tan clars com sí que ho seria l'augment projectat de les temperatures. Així, pel que fa a aquesta variable, es produeix un augment de la temperatura mitjana anual a Catalunya en el període 2001-2050 que segueix un gradient latitudinal i altitudinal, de manera que l'increment més gran es dona al Pirineu occidental (+2,0 °C) i el mínim al litoral sud (+1,0 °C), mentre que en el camp estacional, l'augment més marcat s'obté a l'estiu, en algunes zones dels Pirineus (superior a +2,5 °C). A Catalunya, en general, la variació màxima de temperatura s'assoleix a l'estiu i la mínima a l'hivern, mentre que la tardor i la primavera apareixen com a estacions intermèdies. D'altra banda, hi ha una disminució d'un 5 % del nombre de dies de glaçada (dies amb temperatura mínima igual o inferior a 0 °C), sobretot a l'interior del país i als Pirineus (aquí, la disminució màxima se situaria entre 30 i 40 dies de glaçada menys a l'any).

Pel que fa a les tendències projectades de precipitació mitjana anual, cal dir que hi ha més incerteses i depenen de la simulació considerada i de la zona geogràfica analitzada, tot i que el rang de variació més probable és entre el -10 % i el +5 %. Malgrat això, es pot dir que la precipitació mitjana anual tendeix a disminuir en una bona part del territori, sobretot al Pirineu occidental, mentre que al litoral podria augmentar, especialment a la part nord. A més, i malgrat les diferències en l'àmbit estacional segons l'escenari considerat, la major part de les simulacions donen un augment de la precipitació mitjana a l'hivern (sobretot al litoral) i una disminució a la primavera, mentre que l'estiu i tardor presenten més incerteses. En resum, l'escenari greu proporciona un clima més

TAULA 16.3. Viabilitat natural i tècnica de les estacions d'esquí (alpi) catalanes

Nom de l'estació	Viabilitat natural			Viabilitat tècnica		
	1	2	3	1	2	3
Baqueira-Beret						
Boí-Taüll			—			—
Espot Esquí	—	—	—		—	—
La Molina			—			—
Masella			—			—
Port-Ainé	—	—	—		—	—
Port del Comte	—	—	—		—	—
Tavascan			—			—
Vall de Núria			—			—
Vallter 2000			—			—

1. Temporada mitjana present.
2. Escenari +2 °C.
3. Escenari +4 °C.

Font: Elaboració pròpia a partir de Pons (2014).

sec i càlid que l'escenari moderat, el qual indica un clima més humit i amb augments de la temperatura menys marcats; en tots els casos, però, els Pirineus seria la zona de Catalunya amb els canvis més importants (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, OCCC, 2012).

En el capítol «El turisme» del SICCC (Saurí *et al.*, 2010) també s'analitzava l'evolució del turisme de neu. Llavors, tot i venir d'alguna de les millors temporades de la història, el sector ja experimentava serioses dificultats (per exemple, la fallida del projecte de la vall Fosca), a la vegada que cada cop eren més les veus que remarcaven la necessitat de concentrar les futures inversions en la diversificació i l'adaptació del sector, més que no pas en l'expansió, atenent una vulnerabilitat més gran del turisme hivernal envers el canvi climàtic. D'entrada, el nombre d'estacions d'esquí a Catalunya (alpí i de fons) no ha variat des del 2010: n'hi ha 16, repartides entre la Vall d'Aran (1), l'Alta Ribagorça (1), el Pallars Sobirà (4), l'Alt Urgell (2), el Solsonès (1), la Cerdanya (5) i el Ripollès (2), les quals generen uns 350 M€ anuals i uns 11.500 llocs de treball, entre indirectes (9.000) i directes (2.500). La derrama econòmica que prové d'aquest tipus de turisme a les comarques de muntanya és tan important que ha passat a ser el veritable motor econòmic a les

comarques en què es localitza. En termes més globals, l'esquí a Catalunya significa un 1 % del volum de negoci a Europa, i un 40 % a l'Estat espanyol.

Així, l'esquí és capaç d'atreure un nombre important de practicants. El 1990 fou un punt d'inflexió, en arribar per primer cop als 2 milions d'esquiadors, i aquesta tendència a l'alça s'ha mantingut en els dos decennis següents, tot i que amb importants alts i baixos: a la temporada 2005-2006 es va assolir el rècord de 2,2 milions de forfets/any i després l'evolució ha estat una mica erràtica, mentre que el balanç de les dues darreres temporades apunta a un estancament al voltant dels 1,9 milions de forfets venuts (taula 16.4). Per la seva banda, l'esquí de fons català és residual, i la millor temporada només ha suposat el 3 % del total d'esquiadors.

Aquesta evolució irregular és bastant lògica, ja que l'esquí, a Catalunya, per la situació latitudinal, és més vulnerable a la variabilitat de les condicions climatològiques que en altres zones europees. D'entrada, gairebé totes les estacions catalanes tenen unes cotes mínimes de neu per sota dels 1.900-2.000 m, quan les previsions sobre els impactes del canvi climàtic a les àrees de muntanya apunten a una manca de viabilitat futura per sota d'aquesta cota. Aquesta

TAULA 16.4. Evolució de la venda de forfets (2010-2015) a les estacions d'esquí alpí

Nom de l'estació	2010-2011 ¹	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	Mitjana del període
Baqueira-Beret	776.274	765.191	784.339	772.555	795.000	778.671
Boí-Taüll	145.510	110.000	82.000	105.000	117.000	111.902
Espot Esquí	—	51.125	55.000	62.000	63.211	57.834 ²
La Molina	300.678	226.000	285.000	316.926	265.798	278.880
Masella	402.987	336.045	380.000	400.000	380.000	379.806
Port-Ainé	—	73.751	85.000	85.000	105.296	87.261 ²
Port del Comte	82.000	60.000	104.000	115.000	52.000	82.600
Tavascan	25.000	15.000	5.000	5.800	2.500	10.660
Vall de Núria	40.151	32.000	30.000	38.859	45.944	37.390
Vallter 2000	80.000	59.782	38.000	60.000	60.294	59.615
Total	2.008.580	1.728.894	1.856.339	1.961.140	1.887.093	1.888.409

1. Per a la temporada 2010-2011, la suma d'Espot Esquí i Port-Ainé fou d'uns 155.000 forfets.

2. La mitjana d'Espot Esquí i Port-Ainé és de les darreres quatre temporades.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades extretes dels webs www.laneualdia.com, www.diaridelaneu.cat i www.nevasport.com.

irregularitat també és deguda a la variabilitat en el nombre de dies d'esquí; en general, les xifres d'esquiadors varien en funció, sobretot, de tres factors: disponibilitat de neu, bones condicions meteorològiques per a esquiar i el calendari (per exemple, de quan s'escauen les vacances de Setmana Santa).

Són diverses les fonts que apunten a un estancament del mercat de l'esquí, a escala nacional i europea. El fet cert és que, d'un decenni ençà, l'esquí es manté estable a Europa, malgrat l'increment del nombre de pistes i la capacitat de moure esquiadors, la introducció de millores en els serveis i formes de comercialització, la difusió de noves modalitats d'esport, etc. Hom preveu que els mercats d'Europa occidental i els Estats Units —els més grans del món, avui dia— seguiran estancats, i que el creixement mundial vindrà sobretot d'Europa de l'est i Àsia. Per tant, d'una banda, per a territoris com Catalunya seria cabdal la captació d'esquiadors forans, però, de l'altra, això topa amb el fet que el mercat de la gran majoria de les estacions és, bàsicament, local, i són pocs els esquiadors que viatgen fora del seu país per a esquiar. Per tant, el mercat d'esquí català es caracteritza pel fet de ser reduït, estancat i en procés d'envelliment.

16.3. Evolució en l'aplicació d'estratègies d'adaptació

16.3.1. El turisme de sol i platja

16.3.1.1. Desestacionalització i diversificació d'activitats turístiques

La diversificació de productes turístics és assenyalada com una de les estratègies fonamentals d'adaptació al canvi climàtic, en l'àmbit d'actuació de les polítiques i de les pràctiques de gestió i els models de negoci. Aquesta mesura, que permet ampliar les línies de producte en un determinat destí o regió turística —i, per tant, implementar més productes, amb diferents requeriments atmosfèrics i amb menys dependència de les condicions climàtiques—, podria dotar el sector de menys vulnerabilitat davant del canvi climàtic i també davant del clima i la variabilitat actual d'aquest. La diversificació de productes turístics, acompanyada de la corresponent diversificació de la demanda, podria

afavorir la desestacionalització i l'esponjament territorial de l'activitat; factors, tots dos, que incidirien en la reducció del risc del turisme respecte al clima i el canvi climàtic.

En l'àmbit geogràfic d'estudi, els plans que defineixen la política turística de l'Estat i de la comunitat autònoma consideren la problemàtica de l'adaptació al canvi climàtic d'acord amb els programes d'adaptació al canvi climàtic que s'implementen a escala estatal i també autonòmica. D'aquesta manera, pel que fa a l'adaptació, en el Plan Nacional e Integral de Turismo 2012-15, per a assolir la visió desitjada del «Destino España», s'estableixen una sèrie d'objectius per al sector turístic espanyol d'acord amb un conjunt de mesures. L'objectiu 7 pretén fomentar la desestacionalització del turisme, millorant i diversificant l'oferta i la demanda turística. A Catalunya, el Pla Estratègic de Turisme 2013-2016 incorpora els impactes climàtics previstos, així com les mesures d'adaptació a aquests, considerant la diversificació i la desestacionalització com a eixos primordials. Però, pel que fa al canvi climàtic i a les estratègies d'adaptació del sector turístic, és en l'àmbit local on trobem la major part d'instruments i mesures d'actuació. Les Agendes 21 locals, les quals elaboren les administracions locals, són l'instrument bàsic per a canalitzar, des de la política municipal, el desenvolupament sostenible en tots els seus àmbits (social, ambiental i econòmic). Lluitar contra el canvi climàtic, prendre consciència dels seus impactes probables sobre el sector turístic i integrar accions preventives en les polítiques turístiques (afavorint el teixit econòmic local per mitjà d'un turisme amb diversitat de productes, menys estacionalitat i més qualitat) són estratègies d'actuació recurrents pràcticament en la totalitat d'Agendes 21 locals existents en una bona part dels municipis del litoral català, tot i que el seu nivell d'implementació real encara no és el que hom desitjaria.

Però la diversificació de línies de producte, a més de presentar-se com una estratègia per a afrontar el canvi climàtic, també s'ha configurat com una pràctica fonamental per a oposar-se a l'esgotament del model massiu de sol i platja. La diversificació s'ha establert com una estratègia elemental en moltes destinacions litorals per a superar les limitacions del monocultiu del producte sol i platja,

i per a renovar, requalificar i reestructurar moltes destinacions turístiques consolidades. Les dues circumstàncies ajuden a explicar que el turisme litoral a Catalunya, durant molt de temps circumscrit a una estreta franja costanera i lligat gairebé de manera exclusiva al sol i la platja, s'hagi esponjat, incorporant nous espais i recursos que han permès el desenvolupament d'altres modalitats i pràctiques turístiques i recreatives, com el turisme rural, de natura o cultural (Gómez *et al.*, 2014b).

16.3.1.2. *Preservació costanera*

Una estructura morfològica costanera variada i evolucions urbanístiques i econòmiques diverses han originat diferents models de creixement turisticoterritorials. A grans trets, però, predomina un desenvolupament immobiliari amb finalitat residencial que afecta sobretot la primera línia de mar, una sobreexplotació del recurs litoral per al desenvolupament d'activitats econòmiques i socials o lúdiques i recreatives, i una extrema compartimentació de l'espai, on s'hi ha d'encabir tot: el 42,81 % dels habitants que viuen a Catalunya (2014), el 77,96 % dels hotels, el 77,92 % dels càmpings i el 55,43 % de les segones residències s'ubiquen al llarg dels setanta municipis litorals.

Aquesta amalgama d'interessos i pressions a primera línia de mar ha induït a incrementar l'exposició davant alguns dels riscos naturals de la franja costanera, com són els recurrents temporals marítims i les inundacions produïdes en episodis de pluges intenses amb vents de llevant, i la no-utilització de mesures adaptatives suficients ha fet augmentar els impactes. Les zones més afectades solen ser els municipis de la Costa Brava (l'Escala, Calonge, Castell-Platja d'Aro, Tossa de Mar, Lloret de Mar i Blanes, entre d'altres) i del Maresme (Premià de Mar, Vilassar de Mar i Cabrera de Mar, entre d'altres), i les conseqüències són múltiples: pèrdua de la sorra de les platges, esfondraments o afectacions de l'estructura dels passeigs marítims, els espigons, el mobiliari urbà, els habitatges i els locals comercials, la xarxa de clavegueram, etc. (CIIRC, 2010; www.territori.scot.cat, 2015).

Les mesures d'adaptació introduïdes en els darrers anys han estat assumides per cada municipi segons les seves característiques i els riscos diferents als quals s'enfronta. Alguns centren les seves

polítiques en la protecció o estabilització del front litoral mitjançant la construcció de dics de defensa paral·lels a la línia de costa (Calonge - Sant Antoni, Cunit), espigons entre platges (Barcelona), el reforç dels murs de contenció entre passeig i platja (Torroella de Montgrí - L'Estartit), o bé la regeneració artificial de les sorres perdudes (Blanes, Arenys de Mar, Cabrera de Mar, Premià de Mar, Vilassar de Mar i Montgat). Altres opten per actuacions de manteniment i neteja de torrents i rieres (Costa Brava i Maresme), l'ordenació de cada tram de front litoral segons l'exposició als temporals (Barcelona), la conservació o restauració del sistema dunar de la platja (Castelldefels, Torredembarra, Creixell i Malgrat de Mar), o bé la introducció d'espais verds de transició entre la platja i el nucli urbà (Calonge - Sant Antoni) o de mesures dissuasives davant les inundacions (Parc dels Estanys a Castell-Platja d'Aro). Es tracta de mesures dures i toves que cal combinar per a millorar la capacitat de resiliència d'una estreta franja costanera altament preuada, especialment per als usos turístics.

16.3.1.3. *Estalvi d'aigua, ús d'aigües no convencionals i estratègies d'increment de l'oferta d'aigua*

El desplegament del programa de mesures derivat del Pla de Gestió del Districte Fluvial de Catalunya, aprovat el novembre del 2010, incloïa el propòsit de donar una garantia més gran d'abastament als municipis turístics del litoral. Les actuacions que se'n deriven resulten de combinar la dessalinització, la reutilització, la recuperació d'aqüífers, la interconnexió de xarxes i la millora de l'eficiència.

D'aquesta manera, en el període 2010-2015, l'execució de mesures com la recuperació de pous en aqüífers del Besòs, la Tordera i el Llobregat; la construcció de les dues dessalinitzadores del Llobregat i la Tordera; la interconnexió de les dessaladores de la Tordera i el Llobregat amb les potabilitzadores de Cardedeu i la xarxa ATLL (Aigües Ter Llobregat), respectivament; el reforç de l'abastament de la Costa Brava central mitjançant la construcció d'una nova canonada, i la continuïtat donada a la reutilització d'aigua regenerada han permès d'augmentar la garantia d'abastament del sistema Ter-Llobregat. Així, en el sistema Ter-Llobregat, que abasteix bona part de la Costa Brava, la costa del Maresme, el Barcelonès i la costa del Garraf, el dè-

ficat de 176 hm³/any en l'any més dolent s'ha reduït a uns 68 hm³/any. Pel que fa al sistema Sud, en el qual la principal font d'aigua, l'Ebre, ja s'utilitzava gairebé completament durant l'estiu, s'ha incrementat la dotació del minitransvasament a través de la construcció, per part del CAT (Consorci d'Aigües de Tarragona), d'una variant de la canonada del minitransvasament de l'Ebre. La revisió del nou pla de gestió, que cal aprovar a final de 2015 i que tindrà una vigència de sis anys (2016-2021), ha de permetre d'augmentar la disponibilitat d'aigua per a la població actual i futura del litoral català.

També el sector turístic mateix contribueix al descens continuat, des de fa aproximadament un decenni, de les dotacions domèstiques que van a la baixa. Malgrat l'absència generalitzada de dades específiques sobre consum d'aigua en el sector turístic, els estudis realitzats sobre uns quants municipis, establiments o equipaments turístics de Catalunya (Fraguell *et al.*, 2013-2014) mostren que s'ha produït una reducció significativa en el consum d'aigua destinada a aquests usos turístics, molt en línia del que està succeint en altres municipis turístics del litoral mediterrani peninsular (Saurí *et al.*, 2013). Aquesta reducció s'explica per la incidència d'una multiplicitat de factors, entre

els quals destaquen la crisi econòmica i l'augment del preu de l'aigua, les innovacions institucionals i tecnològiques aplicades a la gestió de l'aigua, els canvis d'hàbits de consum per part dels turistes i la incipient sensibilització del sector turístic envers l'estalvi hídic. Alhora, l'aparició, en els darrers anys, de casos de bones pràctiques en el sector turístic, pel que fa a la gestió eficient del cicle de l'aigua, mostra que l'aplicació de tecnologies d'eficiència hídrica pot arribar a significar entre un 20 % i un 30 % d'estalvi en aquests establiments i equipaments turístics. En aquest sentit, cal destacar el Dem EAU Med, un projecte de R+D que està provant tecnologies innovadores en un hotel de Lloret de Mar, i que està aconseguint reduir el consum dels més de 350 l/turista/dia de l'any 1997 als prop de 75 l/turista/dia de l'any 2014.

16.3.2. El turisme de neu

16.3.2.1. Increment de la capacitat de fabricació de neu artificial i dels dominis esquiables

Una de les estratègies més recurrents per a compensar la variabilitat natural de neu ha estat, des de fa temps, l'augment de la capacitat de fabricació de neu amb la instal·lació de canons.

TAULA 16.5. Oferta tècnica de les estacions d'esquí alpí de Catalunya (2009-2015)

Estació	Àrea esquiable (km)		Total pistes		Canons neu		Pistes innivades (km)		Pistes innivades (%)		Esquiadors/hora	
	2009	2015	2009	2015	2009	2015	2009	2015	2009	2015	2009	2015
Baqueira-Beret	108	153	69	99	549	611	39	41	36,1	26,8	56.403	60.683
Boí-Taüll	45,3	45,3	52	48	205	205	20,2	20,2	44,6	44,6	19.690	15.130
Espot Esquí	23,6	23,6	22	22	104	163	10,6	15	44,9	63,5	9.140	8.220
La Molina	60	61	52	54	440	455	27	28	45	45,9	25.500	26.940
Masella	68	74,5	64	64	418	509	33	41	48,5	55	12.160	14.740
Port-Ainé	32,5	25	22	25	90	126	12	12	36,9	48	11.850	10.810
Port del Comte	40,7	50	36	37	240	256	20	20	49,1	40	15.460	16.060
Tavascan	5	14	5	7	0	1	s/d*	s/d*	0	0	1.200	2.600
Vall de Núria	7,6	7,6	11	11	85	88	6,6	6,6	86,8	86,8	4.560	4.560
Vallter 2000	19,9	13	14	14	77	86	9	9	45,2	69,2	7.200	7.200
Total	411	467	347	381	2.210	2.500	177,4	192,8	48,6	53,3	163.160	166.490

* Sense dades.

Font: Elaboració pròpia a partir de l'ACEM, l'ATUDEM i l'Agència Catalana de Turisme de la Generalitat de Catalunya.

A Catalunya, s'ha passat de 1.639 canons de neu (2002) a 2.208 (2009) i a 2.500 (2015), i això s'ha traduït en un augment del nombre de pistes: s'ha passat de 314 (2002) a 347 (2009) i a 381 (2015) (taula 16.5).

L'augment de la capacitat d'innivació artificial ha fet que el nombre de pistes innivades i l'àrea esquiable hagin augmentat (8,6 % i 13,6 %, respectivament). A títol individual, cal fer menció especial de Baqueira-Beret perquè ha incrementat la seva àrea esquiable (41,6 %) i el nombre de pistes (43,7 %) —és, gairebé, l'única estació catalana que ho fa— fet del qual es deriva que avui dia sigui el complex hivernal més gran de l'Estat espanyol, i també l'únic que, segons diferents escenaris, seria viable a Catalunya. En qualsevol cas, la possibilitat d'ampliar els dominis esquiables a cotes de més altitud amb més garanties futures de neu no és una iniciativa versemblant, considerant les limitacions orogràfiques. I, amb el temps, tampoc no hi ha hagut processos d'unió entre estacions que haurien significat l'ampliació dels dominis esquiables implicats: per exemple, Baqueira-Beret ha renunciat a l'ampliació cap al Pallars Sobirà, a través de la vall d'Àrreu, que és un projecte que ja es va començar a plantejar als anys vuitanta; tampoc s'ha dut a

terme la connexió de Boí-Taüll amb la projectada (i aturada) estació de la Vall Fosca, i també roman aturada la connexió amb telecadira de La Molina amb la petita estació de Coll de Pal. Així, caldria remuntar-se a l'any 1999 per a trobar l'únic cas d'unió «física» entre dues estacions d'esquí, Masella i La Molina, que van donar lloc a Alp 2500.

16.3.2.2. Desestacionalització i diversificació de l'oferta: la transició d'estacions d'esquí a estacions de muntanya

Aquesta estratègia és la que més s'ajustaria a la idea de desestacionalització turística, ja que seguiria la línia de potenciar activitats no hivernals i no la d'ampliar l'oferta d'activitats susceptibles de fer-se amb neu (a més de l'esquí). La taula 16.6 mostra el ventall de les activitats no hivernals ofertes a les estacions d'esquí, malgrat que aquí topem amb dues dificultats: la primera, que de vegades és difícil discernir entre les activitats que es fan al mateix complex i rodalies, d'aquelles altres que es duen a terme a la resta del territori comarcal i que també es promocionen des de l'estació; la segona es refereix al fet que, arran de la revisió dels webs de les estacions, i un cop contrastada la informació oficial amb la d'altres webs, en algun cas s'observen certes incoherències.

TAULA 16.6. Activitats no hivernals ofertes a les estacions d'esquí alpí (2015)

Estació	Activitats																			Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Baqueira-Beret																					7
Boí-Taüll																					3
Espot Esquí																					1
La Molina																					12
Masella																					3
Port-Ainé																					4
Port del Comte																					6
Tavascan																					3
Vall de Núria																					9
Vallter 2000																					5
Total	3	2	4	7	2	4	2	1	5	2	2	4	3	5	1	1	2	2	1	53	

1. Rutes a cavall - ponis; 2. Barques; 3. Tir amb arc; 4. Senderisme i excursionisme; 5. Segway; 6. Tubby; 7. Spa; 8. Esports tradicionals; 9. BTT, *mountain skyver*; 10. Esports aquàtics, pesca; 11. Esports aeris i de muntanya; 12. Cultura; 13. Telecadira; 14. Circuit d'aventures - parc lúdic; 15. Orientació; 16. *Nordic walking*; 17. Quads; 18. *Frisbee golf*; i 19. Cursa virtual.

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació disponible als webs de les estacions d'esquí.

La Molina i Vall de Núria segueixen sent les estacions amb una oferta més àmplia d'activitats, mentre que en el sentit contrari hi ha Espot Esquí, Boí-Taüll i Tavascan. Quant a les activitats, el senderisme i l'ús de bicicletes tot terreny (BTT) són de les més difoses, probablement perquè necessiten poca infraestructura o equipaments específics; ambdues poden ser compatibles i utilitzar camins ja existents, independentment de les estacions d'esquí. Tot i això, d'ençà del SICCC no sembla que aquesta estratègia de la desestacionalització hagi progressat gaire, i se'n poden avançar algunes causes: a) un esforç més gran de les estacions per a reforçar les activitats nivals, ja que són la clau del seu negoci (més diversitat, més pistes, remuntadors, polítiques més agressives de preus, circuits inclusius, forfets conjunts, potenciació de les TIC (tecnologies de la informació i de la comunicació), productes més diferenciats per nínxols, millora d'accessos, etc.); b) l'associació entre estacions i activitats estrictament d'hivern i, en canvi, una oferta d'activitats no hivernals molt més gran i dispersa arreu el territori, i c) una qüestió de costos, perquè per a algunes estacions només és rendible romandre obertes a l'hivern, ja que en un cap de setmana d'una bona temporada d'esquí hi pot haver el mateix nombre de visites que en tot l'estiu.

16.4. Evolució en l'aplicació d'estratègies de mitigació a Catalunya

Un dels components bàsics del turisme és el viatge i, alhora, el viatge és un dels principals responsables de l'escalfament global. Es calcula que a l'entorn del 5 % del total d'emissions de CO₂ en el món són generades pel turisme, de les quals el 75 % corresponen al transport (40 % a l'aviació), el 21 % a l'allotjament i el 4 % restant a les activitats recreatives desenvolupades en la destinació (Olcina, 2012). El mitjà de transport més habitual en el sector turístic és l'aeri, amb un fort increment en els darrers anys gràcies a l'oferta de les companyies de baix cost.

A Catalunya, el comportament dels turistes pel que fa al mitjà de transport principal utilitzat per a arribar a la destinació divergeix molt amb relació a la seva procedència (figura 16.4). El factor distància és determinant en la prevalença de l'ús de l'avió respecte d'altres mitjans com el cotxe.

En conseqüència, actualment a l'entorn de les dues terceres parts dels visitants estrangers amb destí principal a Catalunya utilitzen l'avió i, en canvi, poc més d'una quarta part fan ús del cotxe; altres mitjans alternatius i de caràcter col·lectiu (autobús, vaixell i tren) tenen una representació testimonial. L'evolució respecte als turistes estrangers, gràcies a l'increment dels paquets turístics del «tot inclòs», dibuixa des del 2005 una corba a favor de l'ús de l'avió, en detriment del cotxe. Per contra, actualment gairebé el 60 % dels turistes espanyols de la resta de l'Estat que viatgen a Catalunya utilitza el cotxe, enfront d'un percentatge molt més baix (menys d'un 20 %) que utilitza l'avió; però, en aquest cas, altres mitjans de transport col·lectiu i més sostenibles tenen una importància molt més alta (més del 22 %), especialment el tren (més del 15 %). L'evolució pel que fa als turistes espanyols, des de l'any 2005, és l'estabilització dels que arriben amb cotxe, la tendència a la baixa dels que arriben amb avió i, gràcies a la consolidació del tren d'alta velocitat (TAV), l'increment dels que utilitzen el tren. Finalment, avui dia la proporció dels turistes catalans que viatgen a l'interior de Catalunya i que utilitzen el cotxe és molt superior: a l'entorn del 90 % (amb clares diferències entre els qui tenen o no segona residència; sent superior al 96 % en el cas dels que sí que en tenen); l'ús d'altres mitjans com l'autobús o el tren és purament testimonial. L'evolució, des de l'any 2004, respecte als turistes catalans, no evidencia un canvi de tendència.

La major part de les iniciatives en l'aplicació d'estratègies de mitigació en el viatge provenen de l'estranger. Un bon exemple és la de l'operador turístic anglès Inntavel, que ofereix, a través del programa Climate Care, viatges organitzats de senderisme i cicloturisme a la costa i els pobles catalans amb la possibilitat de compensar les emissions de CO₂, quan es viatja amb avió fins a Catalunya.

Amb l'objectiu de reduir el cost energètic i, consegüentment, l'econòmic, el sector turístic emprèn des de fa temps mesures d'estalvi i eficiència energètica. No obstant això, són poques les empreses que fan pública la seva conscienciació ecològica i certifiquen les accions de bones pràctiques ambientals que desenvolupen. El 2015, sols 29 establiments turístics catalans (més del 75 % són

allotjaments rurals) estan guardonats amb l'etiqueta ecològica europea (EEE i, en anglès, European Ecolabel), amb un fort increment a partir de l'any

2013. L'EEE, a més d'obligar a aplicar mesures respectuoses en l'ús i el consum dels recursos naturals i en la producció de residus, és una de les

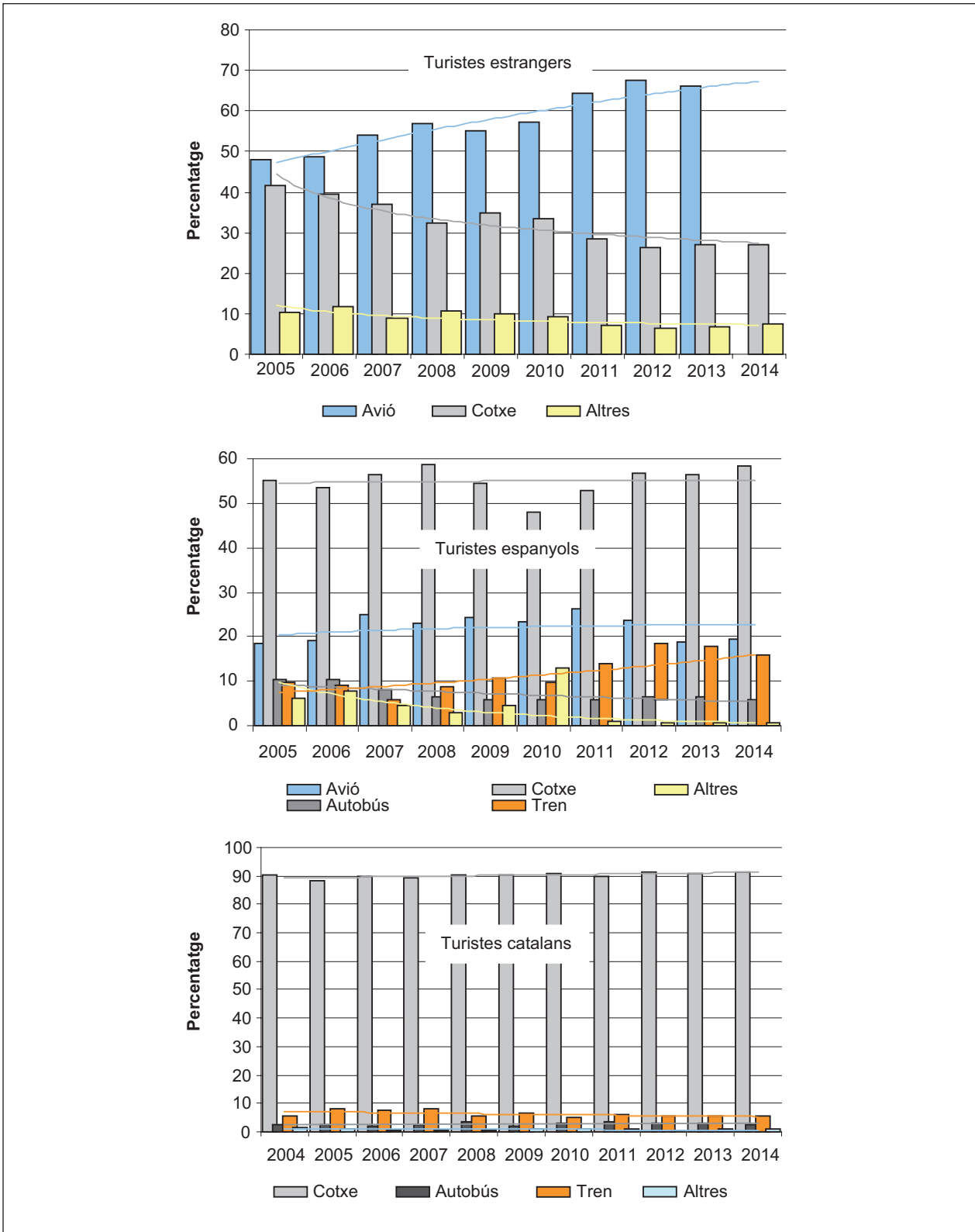


FIGURA 16.4. Evolució del nombre de viatges dels turistes a Catalunya segons el mitjà de transport.

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'Observatori d'Empresa i Ocupació i de l'IET.

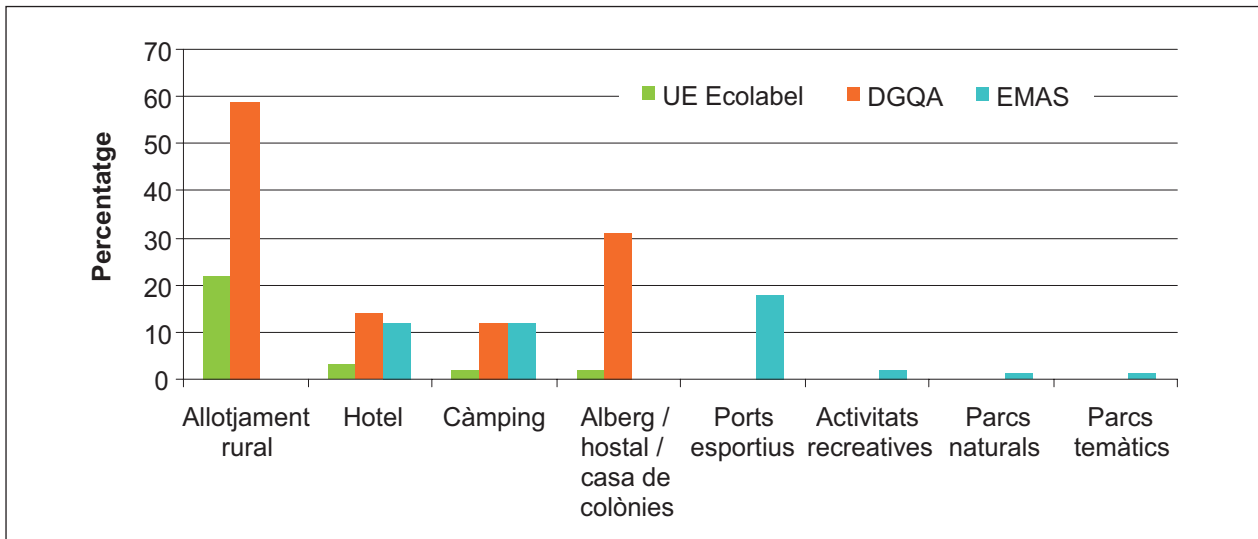


FIGURA 16.5. Distribució de certificacions ambientals per segments turístics (2015).

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la *Guia oficial d'establiments turístics* i de la Direcció General de Qualitat Ambiental de la Generalitat de Catalunya.

certificacions més exigents en l'aplicació d'estratègies de mitigació dels efectes del canvi climàtic; un dels requisits obligatoris exigeix que, com a mínim, el 50 % de l'electricitat utilitzada provingui de fonts d'energies renovables (figura 16.5).

El segment turístic més sensibilitzat en l'aplicació de mesures d'estalvi i eficiència energètica a Catalunya és el dels ports esportius; més del 41 % tenen implantat un SGA (sistema de gestió ambiental). A través de les declaracions ambientals de l'EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), fan públiques les mesures que emprenen per a reduir el consum d'energia i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). És significatiu que, malgrat el poc èxit que ha tingut en el sector turístic l'adhesió al Programa d'Acords Voluntaris per a la Reducció d'Emissions de GEH de l'OCCC, dels sis equipaments turístics que l'han subscrit quatre són ports esportius.

Entre el sector de l'allotjament turístic, el de caràcter més popular i social és el que té una proporció més gran d'establiments amb certificacions ambientals. Més del 62 % dels albergs i hostals catalans tenen un segell mediambiental, sobretot el DGQA (distintiu de garantia de qualitat ambiental). Per a obtenir-lo, cal complir un ampli llistat de criteris bàsics relacionats amb l'eficiència i l'estalvi energètic, així com criteris

opcionals referents a l'ús de fonts d'energia renovables.

El sector dels càmpings és pioner en la implantació de mesures de mitigació. Un 6 % gaudeix de certificacions ambientals; la majoria han optat per l'EMAS i/o pel DGQA. Els casos de bones pràctiques són múltiples: el càmping Las Palmeras de Tarragona, guardonat amb l'EMAS des del 2012, seguint els criteris que estableix la *Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle* de l'OCCC, aplica un control de les seves emissions de GEH i emprèn mesures per a pal·liar-ne l'impacte. El càmping Berga Resort, guardonat amb el DGQA, procura contrarestar les seves emissions de GEH amb la instal·lació d'una caldera de biomassa.

La proporció d'establiments de turisme rural certificats és bastant més baixa (menys d'un 3 % del total), i tots ells han optat pel DGQA i/o per l'EEE. La proporció encara és més baixa en el sector hotelier: tan sols un 1,3 % del sector està certificat, i la majoria han optat pel DGQA i/o l'EMAS. Malgrat tot, existeixen experiències de bones pràctiques ambientals, com és el cas de la cadena hotelera francesa Accor, amb marques d'hotels a Catalunya com Novotel, que participa en el programa internacional Plant-for-the-Planet - Trees for Climate Justice, basat en el sequestre de carboni. Altres

cadena hotelera, com Sol Meliá, amb una àmplia implantació a Catalunya, participen en el projecte SAVE d'estalvi energètic.

Les certificacions en destinacions també són un estímul per a emprendre accions de mitigació dels efectes del canvi climàtic. La certificació Biosphere Destination exigeix als seus socis el compliment de requisits en el marc de l'àmbit de la gestió sostenible relacionats amb l'adaptació al canvi climàtic i amb la reducció de GEH. Barcelona, distingida com a Biosphere World Class Destination des del 2011, treballa per una mobilitat sostenible, desenvolupant programes com Metrowalks i Barcelona Card. La Vall d'Aran ha estat la primera destinació de muntanya en obtenir el Biosphere Destination, el 2014, en reconeixement de les iniciatives desenvolupades per a minimitzar els efectes negatius del canvi climàtic, com per exemple la instal·lació d'energies renovables en les edificacions. Recentment, la serra del Montsec ha estat distingida per la certificació internacional Starlight com a Destinació i Reserva Turística Starlight (2013), en emprendre accions vinculades al control de la contaminació lumínica i per l'aplicació de mesures d'il·luminació intel·ligent i d'estalvi i eficiència energètica. En l'àmbit del turisme de sol i platja, Lloret de Mar, reconeguda com a destinació intel·ligent (en anglès, *smart destination*) el febrer de 2015, desenvolupa accions encaminades a l'eficiència energètica i la mobilitat sostenible.

Finalment, la major part dels municipis del litoral català, si més no els més turístics, i amb l'objectiu de millorar la gestió sostenible de la funció recreativa de la platja, opten per certificar les seves platges principals amb guardons mediambientals, especialment amb la popular Bandera Blava; per exemple, Cambrils i Lloret de Mar. El caràcter temporal d'aquesta etiqueta, limitada només al període de bany, incentiva que alguns municipis, com Calonge, optin per combinar la Bandera Blava amb els SGA. O, d'altres, com Roses, opten per substituir-la pels SGA. Roses, que disposa dels SGA des de l'any 2003, emprèn accions a les platges com ara potenciar l'ús racional de l'aigua potable, promoure l'eficiència energètica en les instal·lacions i equipaments municipals, i calcular les emissions de CO₂ en els serveis de neteja i de la Creu Roja.

16.5. Conclusions

El litoral català no solament presenta una forta competitivitat, pel que fa al confort climàtic, en el mercat turístic tradicional de sol i platja, sinó que també té potencial per a satisfer les expectatives de noves demandes, més enllà del període estival. En els escenaris futurs no es preveu una pèrdua substancial de l'atractiu turístic d'aquesta àrea geogràfica, tret de la zona més meridional. En canvi, sí que es preveu una pèrdua d'atractiu del confort tèrmic durant les nits d'estiu. D'altra banda, l'augment de l'oferta de places turístiques en els municipis litorals i el no-control de la freqüentació recreativa de les platges pot fer perillar un recurs en regressió, el qual, en els escenaris de futur, es preveu que disminuirà substancialment. També, tot apunta cap a una menor garantia dels recursos hídrics disponibles, o una dificultat més gran i costosa per a obtenir-los en quantitat i qualitat suficients.

El turisme de neu a Catalunya continua mostrant una vulnerabilitat important al canvi climàtic. A més, és un sector afectat per la crisi immobiliària dels darrers anys, que ha fet aturar inversions, molt exposat a la incertesa climàtica d'un any per a l'altre, que en bona part sobreviu mercès al paraigua de l'Administració pública, i en el qual el procés de reconversió de les estacions d'esquí a estacions de muntanya sembla que s'ha-gi estancat. D'altra banda, es preveu una gran variabilitat geogràfica en el grau de vulnerabilitat de les estacions catalanes que, cal recordar-ho, es troben bastant a prop les unes de les altres. Seguint Pons (2014), aquestes estacions podrien ser classificades en tres grups, en funció del grau d'afectació esperat: les que en qualsevol escenari d'augment de temperatures no serien viables, ni tan sols amb un increment de la capacitat de fabricació de neu (la qual cosa portaria a reconsiderar el turisme de neu com a principal activitat econòmica); un segon grup amb aquelles estacions en què aquesta estratègia seria viable en un escenari moderat (però amb la necessitat d'introduir mesures d'adaptació, tant tècniques com de planificació futura i de caire estructural); i finalment, el grup de les estacions resilient, amb més dies d'obertura que els seus competidors i una més gran i àmplia oferta turística. És a dir, no s'espera que la principal conseqüència del canvi climàtic sigui una disminució important del turis-

me de neu, sinó més aviat la seva redistribució i concentració territorial en unes poques estacions, sobretot Baqueira-Beret.

16.6. Recomanacions

16.6.1. Generals

Les recomanacions de caràcter general que s'indiquen des d'aquest document són les següents:

- Avançar en la disponibilitat de dades sobre la demanda i el consum turístic de recursos naturals com l'aigua i l'energia. Actualment, aquestes dades només estan disponibles de manera agregada per al conjunt del consum domèstic, per la qual cosa no és possible d'analitzar amb detall l'evolució en els patrons de canvi específics del sector turístic.
 - El baix nivell d'implementació de l'ecocertificació del sector turístic català recomana d'emprendre dos tipus d'accions. Per una banda, accions de desenvolupament de projectes d'informació i capacitació de les empreses turístiques i dels ens públics, encaminades a assolir un turisme competitiu i sensible amb l'escalfament global, de selecció dels programes de certificació més adequats i d'ajuda amb incentius a les empreses que volen ser certificades. Per l'altra, accions que no penalitzin aquestes empreses i ens territorials que volen emprendre accions d'adaptació i mitigació del canvi climàtic, i que volen disposar d'una certificació, fent-los pagar les quotes requerides per a posseir-la.
 - Cal que el sector turístic català subscrigui programes i s'integri en xarxes internacionals sobre energia sostenible i turisme, com és, per exemple, el Programa de la UNESCO RENFORUS (Renewable Energy Futures for UNESCO Sites), que té per objectiu impulsar una xarxa de destinacions turístiques lliures de carboni. O la xarxa europea Hotel Energy Solutions, creada el 2008, en el marc de la iniciativa energètica europea 2020, per a aportar solucions en la reducció de les emissions i la petjada de carboni dels hotels.
- 16.6.2. Turisme de sol i platja**
- Les recomanacions que s'indiquen des d'aquest document pel que fa al turisme de sol i platja són les següents:
- En general, els calendaris d'aprofitament real de les platges del litoral català (establerts pels ajuntaments) no s'adeqüen als calendaris d'aprofitament potencial que determinen les característiques atmosfèriques i el comportament dels turistes. Els serveis i els equipaments s'activen amb un cert retard a l'inici de la temporada i es desactiven de manera prematura al final d'aquesta. L'adequació dels calendaris permetria d'incrementar els nivells de satisfacció dels turistes, ja que podrien gaudir dels serveis i equipaments que permeten l'experiència turística. Aquesta adequació es fa més necessària si es tenen en compte els escenaris climàtics de futur. L'augment de les temperatures implicarà una ampliació de la temporada turística, per la qual cosa ajustar els calendaris d'aprofitament a la nova realitat es considera una acció fonamental per a mantenir la situació de privilegi del litoral català en el context turístic regional.
 - La importància del turisme per als municipis del litoral català ha potenciat la funció recreativa de les platges i ha marginat les funcions mediambientals i de protecció que aquestes també han d'exercir, i també han posat en perill la seva perdurabilitat. Amb l'objectiu de vetllar per una gestió més integrada del litoral, és convenient incorporar nous paràmetres en els plans d'ordenació de les platges, tals com considerar el volum de la demanda potencial, conèixer la freqüentació turística real, i establir límits de capacitat de càrrega segons la tipologia de cada platja. També, considerant els processos ecològics que s'hi desenvolupen, cal eliminar els impactes que generen tant la regeneració de les platges com el mateix garbellament de sorres durant la neteja. Alhora, convindria renaturalitzar les platges, mitjançant la restauració de sistemes dunars en aquells casos en què l'amplitud de la platja i la disponibilitat de sediments ho permetin, tant per la funció ecològica com protectora davant de temporals.
 - El model urbanístic i turístic imperant en els municipis costaners, més l'extrema zonació territorial i l'alta afluència de visitants a primera línia, generen una alta vulnerabilitat que ha de ser tractada individualment, assignant a cada platja o a cada tram costaner la gestió més

adequada, en funció de la seva tipologia, entorn i singularitats. Tanmateix, per a aconseguir una gestió integrada per a tot el litoral català, convindria que un ens supramunicipal establís quines són les estratègies a seguir més idònies per a cada casuística (Martí *et al.*, 2013; Sardá *et al.*, 2013). Així, les mesures reiteradament insuficients haurien de ser substituïdes per d'altres potser menys usuals però més eficients, com potenciar les praderies de *Posidonia oceanica* i/o els espigons trencaonades submergits, per a reduir l'energia de les onades en profunditat i facilitar la deposició de sediments a les costes; també, els tractaments urbanístics tous o verds, els quals són menys agressius, menys costosos i amb una capacitat d'absorció més gran davant els efectes dels temporals.

- El nou Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya, que s'ha d'aprovar a final de 2015 i desenvolupar en el període 2016-2021, ha de donar continuïtat a l'aposta per mesures que permetin d'augmentar la disponibilitat d'aigua per a la població actual i futura del litoral català. La combinació d'actuacions com la dessalinització, la reutilització, la recuperació d'aqüífers, la interconnexió de xarxes i la millora de l'eficiència impulsades des de l'Administració s'ha de complementar amb les mesures d'eficiència hídrica que ja estan realitzant i han d'impulsar encara més tant el sector turístic, en els seus establiments i equipaments, com els mateixos patrons de consum dels turistes.
- La diversificació de l'oferta turística en el litoral ha d'anar acompanyada d'un procés paral·lel de diversificació de la demanda, és a dir, de captació de nous segments de mercat amb motivacions diferents del «sol i platja». Aquesta tasca difícilment pot ser assumida per una estructura empresarial caracteritzada per la fragmentació i el predomini de negocis de mida mitjana i petita, per la qual cosa es fa necessària una major implicació de l'Administració pública amb el desenvolupament de programes de recerca i de posada en valor de recursos associats al turisme cultural i de natura, especialment els localitzats a l'interior.

16.6.3. Turisme de neu

La qüestió clau del turisme hivernal és aconseguir que sigui sostenible. En primer lloc, a més de plan-

tejar la possibilitat de tancar algunes estacions, sobretot si són a la mateixa comarca, una mesura important seria no permetre d'obrir estacions noves (o de reobrir-ne alguna de tancada, com La Tuca o Llessui). En segon lloc, convindria millorar el rendiment dels dominis esquiables ja existents (sobretot abans de plantejar ampliacions) i descartar també inversions en dominis per sota d'una determinada cota mínima. I, en tercer lloc, i deixant de banda els factors relacionats específicament amb la meteorologia, en els propers anys, entre d'altres, s'hauria d'actuar per a:

- Incrementar la investigació sobre la relació dels impactes físics del canvi climàtic a les estacions d'esquí, amb el comportament dels esquiadors, d'una banda, i, de l'altra, amb els impactes en alguns indicadors socioeconòmics de les zones afectades (per exemple, davallada del nombre d'esquiadors, d'ingressos, etc.). En aquesta línia, també cal més recerca sobre la percepció que tenen els agents implicats del fenomen; diversos estudis (March *et al.*, 2014) apunten que no es veu encara com una amenaça, que més aviat és de naturalesa global i no tant regional, i que les estratègies d'adaptació acostumen a ser individuals i reactives.
- Dissenyar i aplicar propostes de reorganització del sector de neu, sobretot arran de la previsible disminució d'activitat en moltes estacions i l'augment de la concentració d'esquiadors en aquelles menys afectades pel canvi climàtic.
- Avançar en la transformació d'estacions d'esquí en estacions de muntanya i també en veritables espais d'oci, amb activitats addicionals d'una àmplia gamma per tal de captar més esquiadors i, sobretot, de retenir-los.
- Obrir un debat social i territorial a les comarques dels Pirineus amb la discussió de propostes i alternatives per a un futur no centrat exclusivament en l'esquí.

Referències bibliogràfiques

- AEMET = AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (2015). *Proyecciones climáticas para el siglo XXI en España* [en línia]. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.aemet.es/es/portal/serviciosclimaticos/cambio_climat> [Consulta: 20 novembre 2015].

- CIIRC = CENTRE INTERNACIONAL D'INVESTIGACIÓ DE RECURSOS COSTANERS (2010). *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya* [en línia]. <http://www.igc.cat/web/ca/costa_lvzcc_acces.php> [Consulta: 20 juliol 2015].
- FRAGUELL, R. M.; RIBAS, A. (coord.) (2013-2014). *Diagnosi del sector turístic català: Consum d'aigua i mesures d'estalvi hídric*. Girona: Catalan Water Partnership.
- FREITAS, C. R. DE (2015). «Weather and place-based human behavior: recreational preferences and sensitivity». *International Journal of Biometeorology*, 59(1), p. 55-63.
- GÓMEZ, M. B., ARMESTO, X. A., CORS, M. [et al.] (2014b). «Adaptation strategies to climate change in the tourist sector: The case of coastal tourism in Spain». *Tourism*, 62(3), p. 293-308.
- GÓMEZ, M. B., ARMESTO, X.; MARTÍNEZ, E. (2014a). «The Spanish tourist sector facing extreme climate events: A case study of domestic tourism in the heat wave of 2003». *International Journal of Biometeorology*, 58(5), p. 781-797.
- GÓMEZ, M. B.; MARTÍNEZ, E. (2012). «Tourism demand and atmospheric parameters: Non-intrusive observation techniques». *Climate Research*, 51(2), p. 135-145.
- GÖSSLING, S.; PEETERS, P.; HALL, C. M. [et al.] (2012). «Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review». *Tourism Management*, 33, p. 1-15.
- HALL, C. M.; AMELUNG, B.; COHEN, S. [et al.] (2015). «No time for smokescreen skepticism: A rejoinder to Shani and Arad». *Tourism Management*, 47, p. 341-347.
- HALL, C. M.; SAARINEN, J. (2015). *Tourism and Change in Polar Regions: Climate, Environments and Experiences*. Londres: Routledge.
- KAJAN, E.; SAARINEN, J. (2013). «Tourism, climate change and adaptation: A review». *Current Issues Tourism*, 16, p. 167-195.
- KENT, M.; NEWNHAM, R.; ESSEX, S. (2002). «Tourism and sustainable water supply in Mallorca: A geographical analysis». *Applied Geography*, 22, p. 351-374.
- LOSADA, I., IZAGUIRRE, C.; DIAZ, P. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MARCH, H.; SAURÍ, D.; LLURDÉS, J. C. (2014). «Perception of the effects of climate change in winter and summer tourist areas: The Pyrenees and the Catalan and Balearic coasts, Spain». *Regional Environmental Change*, 14(3), p. 1189-1201.
- MARQUÈS, M.; BANGASH, R. F.; KUMAR, V. [et al.] (2013). «The impact of climate change on water provision under a low flow regime: A case study of the ecosystems services in the Francoli river basin». *Journal of Hazardous Materials*, 263(1), p. 224-232.
- MARTÍ, C.; RAMIS, J.; SARDÀ, R. (2013). «Responsabilidad, complejidad e integración en la gestión de playas». A: SARDÀ, R.; PINTÓ, J.; VALLS, J. F. (coord.). *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*. Girona: Documenta Universitaria.
- MORENO, A.; AMELUNG, B. (2009). «Climate change and tourist comfort on Europe's beaches in summer: A reassessment». *Coastal Management*, 37(6), p. 550-568.
- MORENO, A.; AMELUNG, B.; GÓMEZ, M. B. [et al.] (en revisió). «Climate Suitability for Beach Tourism in Europe: A Reassessment of the Impacts of Climate Change». *Global Environmental Change*. Regne Unit: Pergamon - Elsevier Science LTD.
- Observatori de Projectes i Debats Territorials de Catalunya* [en línia]. <<http://territori.scot.cat/cat/observatori.php>> [Consulta: 20 juliol 2015].
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2012). *Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic. Horitzó 2013-2020 (ESCACC)*. Barcelona: Secretaria de Medi Ambient i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya.
- OLCINA, J. (2012). «Turismo y cambio climático. Una actividad vulnerable que debe adaptarse». *Investigaciones Turísticas*, 4, p. 1-34.
- PASCUAL, D.; PLA, E.; LOPEZ, J. A. [et al.] (2014, en premsa). «Impacts of climate change on water resources in the Mediterranean Basin: A case study in Catalonia, Spain». *Hydrological Sciences Journal*. DOI: 10.1080/02626667.2014.947290.

- PONS, M. (2014). *Climate change impact on winter tourism in the Pyrenees and adaptation strategies*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- RICO-AMORÓS, A.; OLCINA, J.; SAURÍ, D. (2009). «Tourist land use patterns and water demand: Evidence from the Western Mediterranean». *Land Use Policy*, 26, p. 493-501.
- ROSSELLÓ, J. (2014). «How to evaluate the effects of climate change on tourism», *Tourism Management*, 42, p. 334-340.
- RUTTY, M.; SCOTT, D. (2010). «Will the Mediterranean become “too hot” for tourism? A reassessment». *Tourism and Hospitality Planning & Development*, 7(3), p. 267-281.
- SARDÁ, R.; VALLS, J. F.; PINTÓ, J. (2013). «Un nuevo modelo integral de gestión de playas». A: SARDÁ, R.; PINTÓ, J.; VALLS, J. F. (coord.). *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*. Girona: Documenta Universitaria.
- SAURÍ, D.; LLURDÉS, J. C. (2010). «El turisme». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya; Institut d'Estudis Catalans, p. 835-871.
- SAURÍ, D.; OLCINA, J.; VERA, J. F. [et al.] (2013). «Tourism, climate change and water resources: coastal mediterranean Spain as an exemple». A: SCHMIDT-THOMÉ, P.; GREIVING, S. (ed.). *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective*. [s. ll.]: John Wiley & Sons.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (2011). *Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya per al segle XXI* [en línia]. Barcelona: Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya. <http://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=57363643-ed5b-45d8-8045-bf6c8598492c&groupId=10136> [Consulta: 20 juliol 2015].
- SHANI, A.; ARAD, B. (2014). «Climate change and tourism: Time for environmental skepticism». *Tourism Management*, 44, p. 82-85.

17 Residus i recursos

Autors

Xavier Gabarrell Durany

María Eugenia Suárez Ojeda

Ramon Farreny Gaya

Joan Rieradevall

Xavier Font Segura

Gara Villalba

Carles Martínez Gasol

Xavier Gabarrell Durany és llicenciat en ciències químiques (química industrial) per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i doctor en biotecnologia (1995). Actualment és professor titular al Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la UAB, exdirector (2003-2006) de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) i secretari acadèmic de l'Escola de Doctorat de la UAB. S'ha especialitzat en la docència i la recerca en l'àmbit de l'enginyeria, i és coordinador del grup de recerca Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra). Durant els darrers deu anys ha estat autor de més de cent articles publicats en revistes científiques d'impacte internacional i ha destacat en el camp de l'anàlisi del cicle de vida i d'indicadors com ara la petjada de carboni, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, l'ecologia industrial i la gestió dels residus. És autor de la CO2ZW®, The Carbon Footprint Tool for Waste Management in Europe, una eina de càlcul traduïda a diversos idiomes.

Ramon Farreny Gaya és llicenciat en ciències ambientals i doctor en ciència i tecnologia ambientals per la UAB. És investigador sènior del grup de recerca Sostenipra i investigador vinculat a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA-UAB). És professor col·laborador a la UAB i a l'Elisava, l'Escola Superior de Disseny i Enginyeria de Barcelona, i soci fundador d'Inèdit, una empresa de recerca del

Parc de Recerca de la UAB que també forma part del grup de recerca Sostenipra. S'ha especialitzat en l'àmbit de la petjada de carboni i l'anàlisi del cicle de vida de la gestió dels residus, així com en l'àmbit de l'ecodisseny i l'ecoinnovació en diferents àmbits geogràfics i sectorials. És autor de la CO2ZW®, The Carbon Footprint Tool for Waste Management in Europe, una eina de càlcul de petjada de carboni de la gestió dels residus municipals traduïda a diversos idiomes.

Xavier Font Segura és llicenciat en ciències químiques (bioquímica, 1991) i doctor en ciències (1997) per la UAB. Ha estat professor i director de l'Escola Universitària Politècnica del Medi Ambient, i és professor del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la UAB, del qual també ha estat director (2010-2013). Forma part del Grup de Compostatge de la UAB i ha centrat la recerca en el tractament biològic d'aigües residuals, especialment les tòxiques o poc biodegradables, i, en els darrers anys, en el tractament biològic de residus mitjançant la digestió anaeròbica i el compostatge. Actualment treballa en la determinació dels impactes ambientals associats a les instal·lacions de tractament de residus sòlids orgànics, principalment mitjançant l'anàlisi de les emissions, així com en l'obtenció de productes de valor mitjançant processos de transformació biològica de residus. És autor de més de seixanta publicacions en revistes d'impacte internacional.

Carles Martínez Gasol és llicenciat en ciències ambientals per la Universitat de Girona i doctor en ciències ambientals per la UAB. És investigador sènior del grup de recerca Sostenipra, investigador vinculat a l'ICTA-UAB i professor associat a la UAB en els programes de màster i de grau. Ha publicat més de trenta articles en revistes indexades internacionals i ha col·laborat en projectes de recerca finançats tant nacionalment com internacionalment. És director de projectes i soci fundador d'Inèdit, una empresa de recerca del Parc de Recerca de la UAB i del grup de recerca Sostenipra. S'ha especialitzat en els camps de la petjada de carboni i de l'anàlisi del cicle de vida de la gestió de la biomassa i dels residus, així com en l'ecodisseny aplicat a diferents àmbits geogràfics i sectorials. És autor de la CO2ZW®, The Carbon Footprint Tool for Waste Management in Europe, una eina de càlcul de petjada de carboni de la gestió dels residus municipals traduïda a diversos idiomes.

María Eugenia Suárez Ojeda és enginyera química per la Universitat Simón Bolívar (Caracas, 1999), màster en enginyeria química (Universitat Simón Bolívar, 2001) i doctora en enginyeria química i processos per la Universitat Rovira i Virgili (Tarragona, 2006). Actualment és professora i investigadora del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la UAB, i centra la investigació en les línies següents: I) el tractament biològic d'aigües residuals industrials tòxiques i recalitrants, II) l'eliminació de nitrogen mitjançant sistemes de dues etapes basats en la nitrificació parcial i l'anammox,¹ III) la producció de biopolímers mitjançant de cultius microbians mixtos, IV) l'acoblament de mètodes d'oxidació química i tractaments biològics per a aigües residuals recalitrants, i V) les emissions a les xarxes de clavegueram. Com a resultat de la investigació ha participat en nombrosos projectes nacionals i internacionals i ha contribuït a la publicació de diversos articles en revistes internacionals.

Joan Rieradevall Pons és doctor en ciències químiques per la UAB, màster en gestió gerencial per l'Escola d'Alta Direcció i Administració (EADA) i diplomant en enginyeria ambiental pel Ministeri d'Indústria i

Energia. És professor titular del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la UAB, investigador del grup de recerca Sostenipra de l'ICTA i coordinador de ciències ambientals de la UAB. Ha dut a terme recerques en els camps de l'anàlisi del cicle de vida, l'ecodisseny, la prevenció i el reciclatge de residus, l'aprofitament energètic de la biomassa i l'ecologia industrial. Ha publicat més de cent articles en revistes indexades, uns cent cinquanta articles en publicacions científiques i tècniques i uns cinquanta llibres o capítols de temàtiques mediambientals. Ha estat premiat pel millor Projecte Ecodisseny per al Reciclatge de la Generalitat de Catalunya (2013), pel millor Projecte de Recerca Europeu en Curs pel projecte Life Aquaenvec (2013) i pel Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya en la modalitat universitats (2006). També ha guanyat el Premi Projectes Sostenibles Agenda 21 Ciutat de Barcelona (2004), el premi de Disseny per al Reciclatge 2000 del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya (2001) i el Premi Ciutat de Barcelona 1990 de Tecnologia Aplicada al Medi Ambient de l'Ajuntament de Barcelona (1991).

Gara Villalba és professora del Departament d'Enginyeria Química, Biològica i Ambiental de la UAB. Es va formar en enginyeria química a l'Institut de Tecnologia de Massachusetts (EUA) i posteriorment es va especialitzar en temes de medi ambient i materials per mitjà de la tesi doctoral (Universitat de Barcelona, 2003). Imparteix el curs d'ecologia industrial del programa de màsters d'estudis ambientals i coordina el programa Erasmus Mundus en estudis ambientals. Els interessos principals en recerca i experiència deriven de l'ecologia industrial, un camp que té per objectiu tornar a configurar l'activitat industrial com a resposta al coneixement de les conseqüències ambientals. S'ha centrat en l'avaluació i el disseny dels sistemes urbans i ha analitzat els fluxos de materials, d'energia i d'aigua amb l'objectiu de reduir les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle i la dependència dels recursos no renovables.

1. El terme *anammox* és una paraula formada per acronímia de l'expressió anglesa *anaerobic ammonium oxidation* ('oxidació anaeròbica de l'ió amoni').

Sumari

Síntesi	412
17.1. Introducció	413
17.2. Els residus i els recursos	413
17.3. El bioestabilitzat	416
17.4. Els factors locals d'emissions en plantes de valorització de FORM a Catalunya	417
17.5. El mapa comarcal d'emissions en el sistema de gestió de residus.....	420
17.5.1. La comptabilitat de les emissions.....	420
17.5.2. La petjada de carboni dels residus urbans de Catalunya.....	421
17.6. L'estalvi d'emissions en el reciclatge	422
17.6.1. La metodologia.....	423
17.6.2. Els crèdits del material recuperat	424
17.7. El cicle urbà de l'aigua: aigua potable i aigua residual	426
17.7.1. L'impacte del cicle de l'aigua urbana en les emissions de GEH.....	426
17.7.2. Nous esquemes de tractament de les aigües residuals urbanes	429
17.8. Conclusions	429
17.9. Recomanacions	431
Referències bibliogràfiques	432

Síntesi

La gestió dels residus, juntament amb les estratègies de prevenció per a reduir el consum, obre oportunitats a una optimització més bona dels recursos mitjançant la reutilització i el reciclatge per a reduir i estalviar emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). Els valors de recollida selectiva a Catalunya s'han estancat, i els darrers anys se situen al 38-40 %, si bé el 2007 eren només del 34 %. La via principal de tractament de la fracció restant (terme preferible a *fracció resta*, mal format lingüísticament) a Catalunya per a l'any 2013 és el tractament mecanicobiològic (TMB) (el 52 %), seguida del dipòsit controlat (el 37 %) i la valorització energètica per mitjà de la incineració (l'11 %). Al mateix temps, la qualitat del bioestabilitzat procedent dels TMB és desigual; el paràmetre més crític és la manca d'estabilitat biològica. El bioestabilitzat es gestiona per mitjà de dipòsit controlat, en el qual genera emissions de metà fruit de la degradació anaeròbica. Això eleva el potencial d'escalfament global associat a la gestió d'aquest flux de residus. Pel que fa a les tecnologies de tractament de la fracció orgànica, el consum d'energia s'incrementa en augmentar la complexitat de la instal·lació. D'una manera inversa, les emissions a l'atmosfera disminueixen en augmentar la complexitat de la instal·lació. Així, els processos basats en piles voltejades presenten consums més baixos d'energia, però, com a contrapartida, com que no disposen d'un sistema de captació i tractament dels gasos tenen un impacte superior quant a les emissions a l'atmosfera.

A fi de comptabilitzar les emissions de GEH, l'Agència de Residus de Catalunya utilitza, des de l'any 2011, l'eina Carbon Footprint Tool for Waste Management (CO2ZW®), desenvolupada pel grup de recerca Sostenipra. La contribució principal a les emissions del tractament dels residus prové dels dipòsits controlats, que emeten grans quantitats

de metà (tot i la captació de biogàs). D'altra banda, la recollida selectiva contribueix, en bona part, a reduir la petjada de carboni del sector (els impactes evitats). Les variables que més condicionen aquestes emissions són: 1) la generació de residus per habitant i 2) la fracció restant enviada directament a dipòsit controlat, les quals contribueixen a augmentar les emissions, i 3) la recollida selectiva, la qual contribueix a minimitzar les emissions. En el cas de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals per habitant, en el període 2011-2013 s'observa una reducció del 21 % fins a arribar a 94 kg CO₂ equiv./hab., fruit de la davallada en la generació de residus (de l'11 %) i la disminució de les emissions per tona de residu gestionat. Amb relació als crèdits de GEH, el balanç entre els generats i els evitats, l'alumini és la fracció de residus que genera més crèdits, -12.580 kg CO₂ equiv./t, en comparació dels 354 kg CO₂ equiv./t del plàstic o dels 46 kg CO₂ equiv./t del paper. Aquests crèdits s'obtenen tenint en compte que el 38 % del paper, el 25 % del plàstic i el 57 % de l'alumini s'exporten fora de Catalunya i d'Espanya, i que els crèdits evitats a cada país depenen de la tecnologia i també de la combinació energètica.

El factor d'emissió de GEH global del cicle de l'aigua podria arribar a ser de 2.148,4 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida o més. Les incerteses en les dades fan imprescindible que es continui treballant en els estudis globals del cicle urbà de l'aigua a Catalunya.

La situació dels residus d'origen ramader, i més concretament la dels purins, és insostenible i ha comportat el tancament de les sis plantes de tractament que hi havia a Catalunya, de manera que es torna a ser al mateix punt que deu anys endarrere.

Paraules clau

CO2ZW®, crèdits CO₂, petjada de carboni, reciclatge, reutilitzar, ACV, economia circular

17.1. Introducció

Els residus són un recurs i una de les constatacions de les ineficiències de la nostra societat. La generació de residus representa un malbaratament de recursos i energia i causa impactes en el medi ambient, molt especialment la generació de fraccions orgàniques, ja que la mala gestió repercuteix, entre d'altres, en l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH). El procés d'eliminació dels abocaments de les activitats econòmiques i socials només pot tenir èxit mitjançant l'aplicació d'una sèrie de polítiques i mesures basades en l'ecodisseny i la prevenció que incorporin la visió del cicle de vida. Cal abandonar el model lineal de producció i consum i substituir-lo pel model del cicle de la natura. Per aconseguir avançar en la conservació dels recursos, hi ha dues eines i metodologies cabdals a l'hora de quantificar els impactes i monitorar el progrés: l'anàlisi de fluxos de matèria i energia i l'anàlisi dels impactes per mitjà de l'anàlisi del cicle de vida (ACV). En aquest capítol veurem alguns exemples de la utilització d'aquestes metodologies.

La gestió dels residus pot oferir oportunitats per a una optimització més bona dels recursos mitjançant la reutilització i el reciclatge, que, juntament amb una estratègia de prevenció i reducció del consum, afavoreixen un cicle més tancat de les matèries primeres que necessitem. Durant aquests darrers anys, el flux de residus que ha experimentat un canvi més substancial ha estat la fracció restant que va a tractament, que anteriorment anava directament a l'abocador i que genera l'anomenat *bioestabilitzat*, procedent dels ecoparc. En l'apartat 17.3 d'aquest INFORME s'incorpora una introducció d'aquest residu secundari, el bioestabilitzat. El fet de reciclar comporta la recuperació de materials, ja sigui per la recollida selectiva feta pels ciutadans o bé per la recuperació a les plantes de tractament del conjunt d'infraestructures de gestió de residus catalanes. Tots els tractaments són emissors nets de GEH. Per això es presenta un apartat amb la recopilació dels factors d'emissió per tipologia de plantes de tractament de la matèria orgànica que hi ha a Catalunya segons els estudis realitzats en els darrers anys (apartat 17.4). Les dades presentades tenen en compte, pel que fa a les emissions dels abocadors, les causades pels residus dipositats l'any d'estudi durant els cent

anys següents, de manera que permeten analitzar més bé la presa de decisions i les conseqüències, si bé aquest nombre no és comparable directament amb el valor que s'obté seguint la metodologia del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC), que estima les emissions de l'any en curs dels abocadors, derivades dels residus acumulats al llarg dels decennis anteriors. L'apartat 17.5 presenta la petjada de carboni per comarques i també inclou les emissions generades i les emissions evitades de GEH. El reciclatge evita la producció de matèria primera i el consum de recursos: són les emissions que es comptabilitzen com a evitades en aquest capítol i que es mostren tant en l'apartat 17.5 com, amb un altre enfocament, en l'apartat 17.6, en el qual es té en compte la gestió de les fraccions de residus de paper, alumini i plàstic recollides a Catalunya.

Les emissions del cicle urbà de l'aigua (apartat 17.7) s'inclouen en les diverses categories dels inventaris nacionals d'emissions de GEH. En aquest capítol es tracten les emissions generades en les etapes d'extracció, distribució, transport de les aigües residuals i tractament de les aigües residuals per fer palès que la reducció de GEH depèn de la bona gestió i de la planificació dels components del cicle urbà de l'aigua.

17.2. Els residus i els recursos

La taula 17.1 mostra l'evolució dels residus a Catalunya durant el segle XXI, i hi podem veure una disminució clara en la generació dels residus, molt considerable pel que fa als residus industrials i a la runa a partir de l'any 2007. La generació dels residus sòlids municipals (RSM) també ha seguit una tendència a la baixa en els darrers anys, en bona part a conseqüència de la crisi econòmica, de manera que ha disminuït d'un 12 a un 15 % durant els darrers sis anys. Així, entre els anys 2011 i 2013 s'ha passat de generar 1,47 kg de RSM per persona i dia a generar-ne 1,30 kg. D'altra banda, la situació dels residus d'origen ramader, i més concretament la que fa referència als purins, ha canviat considerablement els darrers dos anys. La reforma del sector elèctric iniciada a començament del 2014 (Llei 24/2013, del 26 de setembre, del sector elèctric) ha modificat el sistema retributiu de la producció d'energia elèctrica amb cogeneració i tractament de purins i ha comportat el tancament

de les sis plantes d'aquest tipus que hi havia a Catalunya. En el cas concret dels purins, cal tenir en compte que, d'una banda, ja es coneixia d'antuvi que hi hauria una reducció en la prima i que, de l'altra, aquest sistema de gestió de purins es va concebre atribuint un pes excessiu al benefici relacionat amb l'obtenció d'energia i no tant a la gestió del residu mateix. Per tal de gestionar correctament els purins, l'any 2015 el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural ha iniciat actuacions per a canviar el model de gestió dels purins de les explotacions afectades.

Els darrers anys hi ha hagut un interès creixent per les diferents opcions de gestió de residus per a dissenyar estratègies de recuperació dels recursos i polítiques de gestió dels residus d'una manera sostenible. En aquest context, l'ACV s'ha utilitzat com a metodologia prioritària per a la presa de decisions pel que fa a l'elecció dels sistemes de gestió de residus o a l'ús de recursos. L'ACV es basa en l'escandall dels fluxos d'entrada i de sortida del sistema objecte d'estudi, que inclou, entre d'altres, les emissions de la degradació i/o la combustió de les deixalles i els materials i/o l'energia consumida al llarg del procés de tractament. L'ACV estudia els aspectes ambientals i els impactes potencials durant tota la vida del producte o servei, des de l'obtenció de les matèries primeres fins a la producció, l'ús i la disposició final (del bressol a la tomba). Com més complexitat tenen les solucions proposades, més necessàries són les metodologies com l'ACV per a analitzar-les. Des del moment que els nous processos i els tractaments són el resultat de la combinació d'un nombre més gran d'operacions bàsiques i/o requereixen més energia o transport, l'ACV serà la metodologia que ens permetrà valorar les millores (o no)

d'aquests nous tractaments i processos des del punt de vista ambiental.

Amb l'objectiu d'una optimització més bona dels recursos mitjançant la valorització dels residus, s'ha utilitzat l'ACV per a comparar diferents tecnologies per a la recuperació i el segrest de CO₂ de biogàs generat per la digestió anaeròbica i els abocadors (Starr *et al.*, 2012). El biogàs té un alt contingut de metà (CH₄) i podria ser un bon substitut del gas natural o es podria utilitzar per a la generació d'electricitat. El biogàs procedent dels residus sòlids urbans (RSU) es genera de la matèria orgànica que arriba als abocadors i a les plantes de digestió anaeròbica (DA). Durant l'any 2013, a Catalunya es van dipositar 817.558 tones de residus als abocadors i van arribar a les plantes de DA 646.153 tones de matèria orgànica procedents de la recollida selectiva orgànica i de les plantes de tractament mecanicobiològic (TMB) (ARC, 2014a). D'acord amb una mitjana de captura de biometà dels abocadors del 30 % (en pes) i amb la metodologia establerta per l'IPCC, que també inclou les emissions dels residus que s'han abocat en els darrers anys, es pot determinar una generació de 32,7 × 10⁶ m³ de biogàs provinent dels abocadors per al 2013.

Paral·lelament, un estudi sobre DA de residus a Catalunya estima una producció de 107 m³ de biogàs/t de residu (Martín-González *et al.*, 2011) i permet determinar un potencial de 38,1 × 10⁶ m³ de biogàs anuals. El consum mitjà anual de gas natural a Catalunya, determinat a partir del consum del període 2007-2009 (Idescat, 2015a), se situa als 7.060 × 10⁶ m³/any (2,66 × 10⁸ MJ/any). És a dir, el biogàs procedent dels residus només podria substituir prop de l'1 % de la demanda de gas natural. *A priori* no sembla gaire significatiu, però quan ens

TAULA 17.1. Evolució dels residus a Catalunya durant els anys 2000, 2007 i 2013

	Any 2000	Any 2007	Any 2013
Industrials* (Mt)	5,6	5,4	3,6
Municipals (Mt)	3,5	4,3	3,6
Runa (Mt)	5,5	10,7	2,3
Població (milions d'habitants)	6.090.040	7.210.508	7.553.650

* No inclou secundaris.

Font: PICCC, SICCC i elaboració pròpia a partir de dades de l'ARC.

fixem en la reducció de l'impacte ambiental mitjançant l'ACV els guanys són importants, sobretot amb el potencial de reducció de les emissions de GEH. Els estudis per a l'aprofitament del biogàs s'han intensificat durant els darrers anys, especialment els que combinen l'eliminació de les impureses del metà amb la fixació (segrest) del CO₂. El biogàs purificat amb un contingut de metà superior al 98 % es pot utilitzar com a font d'energia a qualsevol tipus d'aplicació, més enllà de la cogeneració tradicional, entre les quals destaquen l'automoció i la injecció de gas convencional a la xarxa.

Un exemple el trobem al projecte europeu UPGAS-CO2 (Starr *et al.*, 2012), en el qual s'han avaluat i optimitzat dues tecnologies per a purificar el biogàs que utilitzen residus rics en hidròxid de calci. Aquestes tecnologies (*bottom ash for biogas upgrading*, BABIU, i *alkaline with regeneration*, AwR) es basen en la mineralització del CO₂ del biogàs amb residus rics en hidròxid de calci generats durant la incineració de residus, com ara les cendres volants i les partícules recollides a les diferents unitats de tractament dels gasos de la incineració. L'aplicació d'aquestes tecnologies pot significar un estalvi d'emissions de GEH en tres sentits: 1) el CO₂ que es captura amb les tecnologies de mineralització esmentades, 2) les emissions de CH₄ dels abocadors que evitem i 3) la reducció de CO₂ causada per l'estalvi del consum de gas natural. En l'estudi de Starr *et al.* (2012) es va determinar l'estalvi d'emissions de CO₂ equivalent (CO₂ equiv.) que resulta de l'aplicació d'AwR i BABIU amb uns valors de 305 i 1.763 g CO₂ equiv./m³ de biogàs purificat, respectivament. En segon lloc, a partir del factor d'emissió de 10 g CO₂ equiv./MJ de gas na-

tural (Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2010) i del consum estalviat es poden estimar les emissions de GEH estalviades gràcies a la substitució del gas natural pel biogàs. Els resultats d'aquests càlculs es poden veure a la taula 17.2, que compara les emissions de CO₂ equiv. evitades amb les emissions de la gestió de residus de Catalunya per a l'any 2013.

Com indica aquesta taula, es pot arribar a una reducció de 24.250 t CO₂ equiv. o de 127.483 t CO₂ equiv. (segons les tecnologies AwR o BABIU, respectivament), cosa que equival a un 3,4 % o un 18 % de les emissions totals de Catalunya per al sector de residus. Aquest potencial de reducció no és negligible i s'apropa als objectius de reducció d'emissions establerts per la Unió Europea. L'anàlisi econòmica aplicada a Espanya que es va dur a terme per Starr *et al.* (2015) va determinar que aquestes tecnologies de captura només són rendibles quan els crèdits de CO₂ arriben a 165 €/t o bé si el preu del biometà és d'un mínim de 0,30 €/kWh. Actualment aquestes tecnologies no són factibles, ja que els preus actuals són de 8 €/t per al CO₂ i de 0,05 €/kWh per al metà.

En el marc de la valorització, i amb la finalitat de donar una altra oportunitat a certs materials considerats residuals, apunta amb una certa força l'obtenció de productes de valor afegit a partir de residus mitjançant processos de fermentació en estat sòlid (SSF). Aquesta sigla engloba els processos biològics desenvolupats en una matriu sòlida amb prou aigua per a generar activitat microbiològica però sense pràcticament cap presència d'aigua lliure. Així, el compostatge és un tipus de procés

TAULA 17.2. Resum de les dades per a calcular el potencial d'emissions de CO₂ equiv. evitades per la purificació de biogàs a partir d'AwR i BABIU

	Residu tractat (tones)	Biogàs generat (10 ⁶ m ³)	Consum de gas natural (10 ⁶ m ³)	CO ₂ equiv. capturat per AwR i BABIU (tones)	CO ₂ equiv. estalviat per reducció de consum de gas natural (tones)	CO ₂ equiv. de la gestió dels residus municipals de Catalunya (tones)
Digestió anaeròbica	646.153	38,1		11.619 - 67.172		
Abocador	817.558	32,7		9.972 - 57.651		
TOTAL	1.463.711	70,8	7.060 (1)	21.591 - 124.823	2.660	710.492 (2)

Font: (1) Idescat, 2015; (2) ARC, 2015.

de SSF en el qual el producte final és el compost. La tendència en la recerca actual, emparada en el paraigua de l'economia circular, és utilitzar residus com a matèria primera per a obtenir, a partir de processos de SSF, productes d'un valor afegit alt. Amb el residu que resulta del procés de SSF es pot produir igualment un compost o bé sotmetre'l a DA i obtenir biogàs. La implementació d'aquests processos permetria obtenir productes d'un valor afegit alt (com ara enzims, biosurfactants o biopesticides) a partir de residus sòlids procedents, per exemple, dels sectors ramader, agroindustrial o alimentari, i reduir l'impacte ambiental de la producció a partir dels processos convencionals.

17.3. El bioestabilitzat

La Directiva 1999/31/CE, del 26 d'abril, relativa a l'abocament de residus, obliga els estats membres a reduir el percentatge de residus municipals biodegradables destinats als dipòsits controlats. D'aquesta manera, els estats membres han de posar en marxa una estratègia d'àmbit nacional amb l'objectiu que l'any 2016, o com a màxim el 2020, els residus biodegradables que vagin a l'abocador siguin inferiors al 35 % dels que hi anaven l'any 1995. Al mateix temps, aquesta directiva indica que només poden anar a dipòsit controlat els residus que s'hagin tractat prèviament. Ambdós aspectes condicionen els plans de gestió de residus sòlids urbans, ja que incorporen tecnologies de valorització de la fracció orgànica i del tractament del rebuig.

El tractament de la fracció restant dels residus municipals a les plantes de TMB, en les quals se separa i s'estabilitza la matèria orgànica, produeix un material conegut com a *bioestabilitzat*. El bioestabilitzat es diferencia del compost obtingut a partir de la fracció orgànica de residus municipals (FORM) recollida selectivament, tal com indica l'article 3 de la Llei 22/2011, del 28 de juliol, sobre residus i sòls contaminats. La generació total del material bioestabilitzat a Catalunya per a l'any 2013 s'estimava en aproximadament 145.000 tones, que procedien de l'estabilització d'unes 1.043.000 tones de fracció restant als ecoparcs catalans per mitjà de processos mecanicobiològics.

La qualitat del bioestabilitzat generat a Catalunya és desigual, ja que alguns paràmetres presenten una variabilitat alta entre plantes a causa del fet

que les entrades de fracció i les tecnologies poden variar. En general, el paràmetre més crític és la manca d'estabilitat biològica del bioestabilitzat, la qual es mesura per mitjà de diferents paràmetres, com ara l'índex de Rottegrade, l'índex respiromètric dinàmic o l'activitat respiratòria al cap de quatre dies. L'índex de maduresa de Rottegrade es basa en el mesurament de la calor generada per l'activitat biològica al bioestabilitzat per a determinar-ne, d'una manera senzilla, l'estabilitat, atès que l'increment de temperatura és un senyal clar d'immaduresa. El test d'autoescalfament mesura l'increment de temperatura produït per l'activitat microbiana i considera la diferència entre la temperatura màxima de la mostra i la temperatura ambient. D'acord amb l'índex de maduresa de Rottegrade, el 44 % del bioestabilitzat té un índex igual o inferior a II, el 9 % té un índex de III i el 47 % arriba a un valor igual o superior a IV. Els índexs baixos de Rottegrade (I, II i III) es relacionen amb un autoescalfament alt i impliquen, en general, una manca d'higienització del bioestabilitzat i problemes potencials per dèficit de nitrogen en cas d'aplicar-lo al camp.

Pel que fa als usos i les destinacions del bioestabilitzat, en l'àmbit europeu es constata la possibilitat potencial d'aplicar el bioestabilitzat a diferents usos, els quals es poden agrupar en cinc categories: l'aplicació agrícola, la millora dels sòls, el material de rebliment, la valorització energètica i la disposició final. No obstant això, en l'àmbit català es descarta per defecte l'ús agrícola del bioestabilitzat, tal com es pot observar en les autoritzacions ambientals de les plantes de TMB. Així, doncs, la destinació principal del material bioestabilitzat a Catalunya és el dipòsit controlat (ja sigui com a material de rebuig o bé per al cobriment diari, segons que sigui necessari). No obstant això, algunes instal·lacions de TMB catalanes estan inscrites al registre de fertilitzants del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, de manera que això els permetria destinar el bioestabilitzat a usos agrícoles almenys fins que la concessió del permís expiri.

En el cas que el bioestabilitzat es degradi en condicions aeròbiques (com, per exemple, en l'aplicació al camp), aquesta degradació produiria, principalment, diòxid de carboni, el qual es podria considerar neutral pel fet de ser biogènic (d'origen

natural). No obstant això, en el cas que el bioestabilitzat es gestioni per mitjà de dipòsit controlat, i considerant que a Catalunya generalment es tracta d'un material estabilitzat insuficientment, es generarien emissions de metà fruit de la degradació anaeròbica (amb manca d'oxigen). Això elevaria el potencial d'escalfament global associat a la gestió d'aquest flux de residus, cosa que comporta que sigui molt important: a) incidir en una estabilització més gran del material bioestabilitzat o b) gestionar aquest material per mitjà d'altres vies per tal d'evitar la degradació anaeròbica.

17.4. Els factors locals d'emissions en plantes de valorització de FORM a Catalunya

Les tecnologies més esteses a Catalunya per al tractament de la FORM són la DA i el compostatge. Les instal·lacions que tracten aquests residus tenen per objectiu principal la valorització. Així, les plantes basades en un únic procés de compostatge valoritzen la FORM i obtenen com a producte final el compost, una esmena orgànica que pot ser utilitzada en l'agricultura. Les instal·lacions més complexes poden combinar processos, amb un primer procés de DA seguit d'un procés de compostatge. En aquest cas, s'obtenen dos productes valoritzats, el biogàs (un gas ric en metà) de la digestió anaeròbica, que pot ser utilitzat per a obtenir energia elèctrica i calorífica, i el compost com a producte final.

Les instal·lacions basades en processos de compostatge generalment es divideixen en tres etapes: una primera etapa de pretractament, destinada a reduir el contingut de materials impropis, l'etapa pròpia del procés de compostatge i, finalment, una darrera etapa d'afinament, per a millorar la qualitat del compost. Les etapes de pretractament i afinament seran més o menys complexes segons la qualitat de la FORM (més específicament, del percentatge d'impropis). El procés de compostatge també es pot dur a terme amb diferents graus de tecnificació, des de processos basats en piles voltejades fins a processos que es produeixen a l'interior de reactors (túnels de compostatge) amb l'ús de sistemes de mesurament i control basats en la temperatura o en l'oxigen. A més, la instal·lació es pot trobar a cel obert o bé tancada, tot i que en aquest cas es disposa de sistemes de captació i

de tractament de l'aire i dels gasos generats durant el procés de compostatge. El grau de tecnificació i el percentatge d'impropis de la FORM d'entrada, que impliquen una complexitat més gran de les etapes de pretractament i posttractament, són dos dels paràmetres que afectaran els consums energètics i, per tant, les emissions de GEH.

Les instal·lacions que combinen DA i compostatge presenten un procés més complex, que necessita més operacions per a preparar el residu per a la digestió anaeròbica i que es duu a terme en instal·lacions tancades amb aspiració i tractament de gasos. Això, com s'ha comentat anteriorment, implica un consum energètic més gran, però en aquest cas s'obté biogàs, a partir del qual es generen energia elèctrica i calor que es poden utilitzar per a l'autoconsum a la instal·lació mateixa i/o per a vendre a la xarxa elèctrica. A grans trets, el procés es divideix en quatre grans etapes: I) el pretractament, en el qual cal tenir en compte que els processos de DA es poden dividir en processos en via humida i processos en via seca, depenent del contingut d'humitat del residu que entra al digestor, i que segons el tipus de procés el pretractament serà més o menys complex; II) el procés de DA; III) el procés de compostatge, generalment en túnels, i IV) l'etapa d'afinament.

D'acord amb el Programa General de Prevenció i Gestió de Residus i Recursos de Catalunya 2013-2020 (PRECAT20), Catalunya disposa de setze instal·lacions de tractament de FORM mitjançant compostatge, amb una capacitat de 188.270 t/any (el 37,7 % de la FORM), i set instal·lacions que combinen la digestió anaeròbica i el compostatge, amb una capacitat de tractament de 310.830 t/any (el 62,7 % de la FORM). Pel que fa al compostatge casolà, a Catalunya hi ha 20.700 unitats de compostadors repartits en 416 municipis (San Sebastián, 2013).

Estudis duts a terme a diferents instal·lacions catalanes han permès avaluar les càrregues ambientals de cada una de les tipologies. Els resultats obtinguts es mostren a la taula 17.3, en la qual també s'ha afegit el compostatge casolà com a alternativa que molts ajuntaments catalans promouen als seus municipis. Pel que fa a les tecnologies d'àmbit industrial, es pot observar que el consum

d'energia s'incrementa en augmentar la complexitat de la instal·lació. Inversament, les emissions a l'atmosfera disminueixen en augmentar la complexitat de la instal·lació. Així, els processos basats en piles voltejades presenten consums més baixos d'energia; en contrapartida, com que no disposen d'un sistema de captació i de tractament dels gasos tenen un impacte superior quant a les emissions a l'atmosfera. Així mateix, en disminuir la tecnificació augmenta el consum de dièsel. Les instal·lacions més complexes, amb processos de compostatge en túnels amb aeració forçada, i situades en espais tancats amb captació i tractament de gasos comporten un increment important en el consum energètic total (majorment, electricitat), principalment a causa del tractament dels gasos.

Pel que fa a les instal·lacions que incorporen DA i compostatge, cal tenir en compte que part de l'impacte en emissions de GEH queda compensat pel fet de generar energia a partir del biogàs obtingut. En aquest tipus d'instal·lacions, d'acord amb l'estudi de Colón *et al.* (2012), el consum energètic se situa prop dels 470 MJ/t de FORM tractada.

Amb referència a les emissions de N_2O i de CH_4 , els GEH principals d'aquestes instal·lacions, l'emissió és un indicador de la manca d'aeració en el procés de compostatge o bé de la presència d'una etapa de DA. Observem que, per exemple, les emissions de N_2O en l'àmbit industrial varien de 0,035 a 0,251 kg N_2O /t de FORM tractada. En el procés de compostatge casolà, en canvi, les emissions s'enfilen fins a 0,676 kg N_2O /t de FORM tractada, cosa que mostra clarament la importància de l'homogeneïtzació i la mescla en el procés de compostatge casolà.

A l'hora d'interpretar o d'utilitzar aquests valors, cal tenir en compte diversos aspectes fonamentals:

- L'eficiència de cada instal·lació quant a l'estabilització de la FORM d'entrada. Estudis fets amb mostres de compost produït a instal·lacions catalanes (Barrena *et al.*, 2014) indiquen que no totes les instal·lacions de tractament de FORM de Catalunya duen a terme el procés amb la mateixa eficiència en l'estabilització, és a dir, que el producte final obtingut (el compost) no sempre té la mateixa qualitat. Dur a terme

el procés d'una manera correcta es relaciona amb un consum determinat d'energia, per exemple, per a mantenir el procés de compostatge en les condicions òptimes d'oxigen. Així, una instal·lació que no apliqui prou processos d'aireig o volteig tindrà un consum energètic més petit, però el producte final (el compost) serà de menys qualitat i les emissions del procés a l'atmosfera seran més altes. Colón *et al.* (2012) proposen normalitzar les càrregues ambientals d'aquestes instal·lacions amb el grau d'estabilització, mesurat mitjançant l'índex respiromètric dinàmic.

- Les característiques i el rendiment de la instal·lació depenen, en bona part, de la qualitat de la FORM d'entrada; valoritzar una FORM amb un 3 % d'impropis no requereix la mateixa intensitat que valoritzar-ne una que en tingui un 15 %. La maquinària, l'espai necessari i el consum d'energia seran més elevats com més alt sigui el percentatge d'impropis de la FORM. Diferents estudis, també en l'àmbit de Catalunya (Álvarez *et al.*, 2008; Puig-Ventosa *et al.*, 2013), han demostrat que el percentatge d'impropis es relaciona amb diferents factors, com ara el sistema de recollida utilitzat (contenidors al carrer, de porta en porta, etc.), la densitat de població o el nivell adquisitiu.
- Amb relació al punt anterior, la separació d'aquests impropis sempre va acompanyada d'una reducció de la matèria orgànica biodegradable del flux principal. És a dir, en separar aquests impropis també s'elimina part de la matèria orgànica biodegradable que hauria d'anar als processos de digestió anaeròbica i/o de compostatge. Aquest material de rebuig té com a destinació final l'abocador i, per tant, la matèria orgànica que conté acabarà generant emissions de GEH a l'abocador. Colazo *et al.* (2015) han estudiat dues instal·lacions de Catalunya que combinen DA i compostatge. La conclusió de l'estudi és que es perd un 8 % de potencial de biogàs amb la matèria biodegradable que acompanya el rebuig a les plantes de digestió anaeròbica de via seca i un 17 % a les plantes de digestió anaeròbica de via humida. Tindrem la mateixa pèrdua de material biodegradable a les instal·lacions de compostatge, però l'efecte en el cas de les plantes de DA és doble; d'una banda, per

TAULA 17.3. Factors característics d'instal·lacions de tractament de FORM (Colón *et al.*, 2012) i del compostatge casolà

Tipus d'instal·lació		Compostatge a cel obert	Compostatge en instal·lacions tancades	Digestió anaeròbica en via seca + compostatge	Compostatge casolà	Altres referències en instal·lacions fora de Catalunya
Entrades	Electricitat (MJ)	33,41	770,40	166,32	33,77	Blengini, 2008: 297 MJ/t FORM en una instal·lació de compostatge amb piles voltejades situada a Itàlia.
	Electricitat auto-generada (MJ)	0	0	167,04	0	
	Dièsel (l)	5,33	2,66	3,64	0	
	Total MJ (electricitat + dièsel)	236,80	871,90	472,26	33,77	Fricke <i>et al.</i> , 2005: de 200 a 430 MJ/t FORM tractada en instal·lacions que inclouen digestió anaeròbica i compostatge.
	Aigua consumida en el tractament de gasos (m ³)	s/d	0,42	0,12	s/d	
	Aigua consumida en el procés de compostatge (m ³)	0	0,14	0	0,051	
	Total consum d'aigua (m ³)	0	0,56	0,12	0,051	Fricke <i>et al.</i> , 2005: de 0,1 a 0,17 m ³ aigua/t FORM en instal·lacions de digestió anaeròbica seguides compostatge. Blengini, 2008: 0,09 m ³ aigua/t FORM en instal·lacions de compostatge tancades amb tractament de gasos.
Sortides	Lixiviats (m ³)	0	s/d	0,03	0	
	Condensats del biogàs (m ³)	s/d	s/d	0,05	s/d	
	NH ₃ (kg)	8,63	0,11	0,23	0,84	
	Compostos orgànics volàtils (VOC) (kg)	5,70	0,36	0,86	0,56	Smet <i>et al.</i> , 1999: 0,59 kg VOC/t FORM en estudis a escala pilot. Baky <i>et al.</i> , 2003: 1,7 kg VOC/t FORM en estudis a escala pilot. Diggelman <i>et al.</i> , 2003: 4,3 kg VOC/t FORM a partir de dades bibliogràfiques.
	N ₂ O (kg)	0,251	0,075	0,035	0,676	Boldrin <i>et al.</i> , 2009: de 0,0075 a 0,252 kg N ₂ O/t FORM tractada mitjançant compostatge. Amlinger <i>et al.</i> , 2008: de 0,192 a 0,454 kg N ₂ O/t FORM tractada en compostatge casolà.
	CH ₄ (kg)	4,37	0,34	2,39	0,16	Boldrin <i>et al.</i> , 2009: de 0,02 a 1,8 kg CH ₄ /t FORM tractada mitjançant compostatge. Amlinger <i>et al.</i> , 2008: de 0,788 a 2,18 kg CH ₄ /t FORM per compostatge casolà.
	Compost (t)	0,20	0,10	0,3	0,25	
	Rebuig (t)	0,26	0,13	0,41	0	
	Biogàs (m ³)	s/d	s/d	98,90	s/d	Fricke <i>et al.</i> , 2005: de 60 a 110 N m ³ biogàs/t FORM.
	Electricitat (MJ)	s/d	s/d	550,08	s/d	

Els valors es refereixen al tractament d'una tona de FORM i corresponen exclusivament al procés biològic, sense tenir en compte la construcció de les instal·lacions i equips o el transport del residu.

la reducció en el potencial de producció de biogàs de la instal·lació i, de l'altra, per les emissions corresponents de GEH a l'abocador. Per evitar aquestes emissions procedents del rebuig a l'abocador, alguna instal·lació ja aplica una estabilització aeròbica abans de la sortida del rebuig cap a l'abocador. Com que aquesta estabilització implica un consum energètic, caldria determinar quina de les dues vies (la de l'estabilització i l'abocador o la que condueix directament a l'abocador) emet menys GEH.

17.5. El mapa comarcal d'emissions en el sistema de gestió de residus

La nova composició de la bossa tipus dels residus municipals a Catalunya es resumeix a la figura 17.1. Les dades s'han obtingut a partir de la caracterització de la fracció restant i les dades de la recollida selectiva. Les dades de la nova composició mostren, en comparació de les dades disponibles de la campanya de mostreig anterior (2005-2006), una davallada important del paper i del cartró (del 18 a l'11 %) i dels envasos lleugers (del 12 a menys del 8 %), una estabilització de les fraccions orgànica i vidre i un increment de les altres fraccions de residus.

Els valors de la recollida selectiva a Catalunya s'han estancat i aquests darrers anys se situen al 38-40 %, si bé el 2007 eren només del 34 % (cal tenir en compte que hi ha evidències d'una quantitat rellevant de material —especialment paper, cartró i ferralla— que és sostreta dels contenidors, cosa que afegeix incertesa als valors de la recollida selectiva i comporta, en alguns casos, que els valors assenyalats siguin inferiors a les aportacions ciutadanes). La via principal de tractament de la fracció restant a Catalunya l'any 2013 és el TMB (el 52 %), seguit del dipòsit controlat (el 37 %) i la valorització energètica per mitjà de la incineració (l'11 %). Aquesta situació contrasta amb la de l'any 2011, quan les plantes de TMB només rebien el 36 % de la fracció restant, mentre que el dipòsit controlat era la via principal de gestió (el 44 %) i en tercer lloc hi havia la valorització energètica (el 20 %). Aquest canvi segueix la direcció de la valorització dels residus i la limitació de la deposició controlada de la fracció restant sense tractament previ.

17.5.1. La comptabilitat de les emissions

La gestió i el tractament dels residus municipals contribueixen a l'escalfament global a causa de les emissions directes i indirectes de GEH. Les

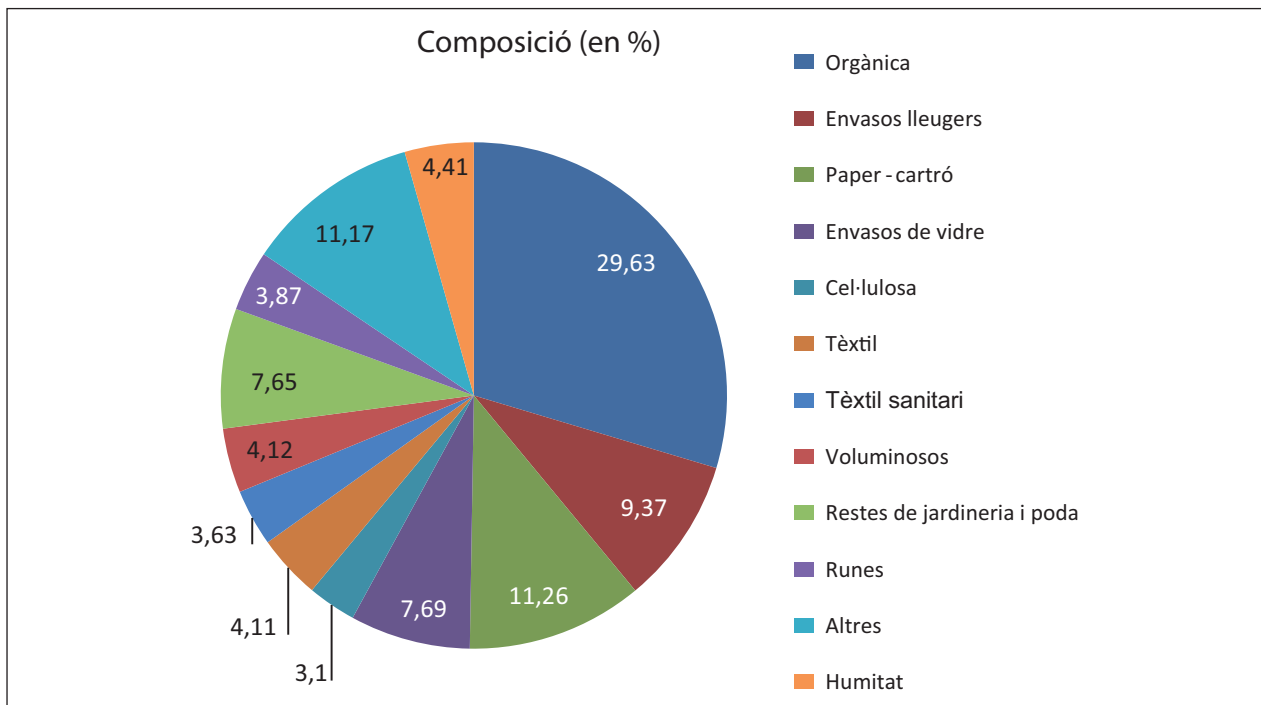


FIGURA 17.1. Composició dels residus municipals d'acord amb les caracteritzacions de la fracció restant i considerant les dades de la recollida selectiva.

Font: ARC, 2014.

emissions *directes* són les que es generen en les operacions de gestió dels residus, de les quals destaquen les emissions de la degradació biològica i/o de la combustió dels residus. D'altra banda, les emissions *indirectes* són les que s'ocasionen a causa de l'activitat de gestió dels residus (com, per exemple, el consum d'electricitat), però que es produeixen fora de les operacions de gestió dels residus (com, per exemple, en una central de cogeneració per a la producció d'electricitat). Al mateix temps, la valorització material i energètica dels residus també permet evitar emissions, ja que facilita la substitució d'altres fonts energètiques i matèries primeres. En aquest capítol es fa referència a la petjada de carboni com a diferència entre les emissions generades i les evitades. Aquesta visió global de les emissions associades a la gestió dels residus permet definir polítiques i estratègies de gestió dels residus encaminades cap a la reducció del potencial d'escalfament global de l'economia.

Per a comptabilitzar les emissions de GEH, l'Agència de Residus de Catalunya utilitza, des de l'any 2011, l'eina Carbon Footprint Tool for Waste Management (CO2ZW®), desenvolupada pel grup de recerca Sostenipra (Sevigné *et al.*, 2013). Convé recordar que les dades presentades en aquest capítol i en la CO2ZW® tenen en compte els factors d'emissió i els models de càlcul proposats per l'IPCC per a la comptabilitat d'emissions del sector dels residus, amb la particularitat que consideren les emissions futures dels dipòsits controlats associades als residus generats en el present. L'enfocament metodològic seguit per al càlcul no coincideix plenament amb l'enfocament utilitzat als inventaris nacionals d'emissions, ja que aquests inventaris: només inclouen les emissions del procés (la degradació biològica i la combustió de residus); no inclouen les plantes de valorització energètica dins del capítol dels residus, ja que les inclouen dins del capítol de l'energia (excepte la incineració sense recuperació energètica); consideren emissions anuals (generades durant l'any d'estudi) en lloc de considerar les emissions futures dels residus enviats a dipòsit controlat durant l'any en curs; no consideren emissions evitades gràcies a la recuperació material i energètica, i no inclouen el transport de residus dins del capítol dels residus —ja que l'inclouen dins del capítol general sobre el transport.

17.5.2. La petjada de carboni dels residus urbans de Catalunya

Les emissions generades pels residus municipals a Catalunya l'any 2013 són 1.440.861 t CO₂ equiv., de les quals més del 96 % són emissions directes (Inèdit, 2014). Per contra, les emissions evitades, procedents de la valorització material i energètica, ascendeixen a -730.369 t CO₂ equiv., les quals equivaldrien a quasi la meitat de les emissions generades. En el cas de fer el còmput global de les emissions (les generades menys les evitades), la petjada de carboni per habitant se situaria en 94 kg CO₂ equiv./hab. l'any 2013. Aquestes estimacions consideren les etapes del transport de residus del municipi fins a les instal·lacions i el tractament dels residus segons una visió del cicle de vida (és a dir, des de la primera instal·lació que els gestiona fins a la darrera).

La contribució principal del tractament dels residus a les emissions prové dels dipòsits controlats, que emeten grans quantitats de metà (tot i la captació de biogàs). D'altra banda, la recollida selectiva contribueix en bona part a reduir la petjada de carboni del sector (impactes evitats). Finalment, el transport interurbà de residus té una contribució més petita (de l'1 %) a la petjada de carboni. En aquesta estimació amb la CO2ZW® no s'han considerat ni el transport dins el circuit urbà quan es fa la recollida ni el transport dels residus secundaris; altres estimacions, tenint en compte el treball de Font *et al.* (2012), incrementarien la contribució del transport fins al 3-4 %.

Les variables que més condicionen aquestes emissions són: 1) la generació de residus per habitant; 2) la fracció restant enviada directament a dipòsit controlat, les quals contribueixen a augmentar les emissions, i 3) la recollida selectiva, que contribueix a minimitzar-les.

Els canvis en la gestió dels residus durant el període 2011-2013 comporten que la petjada de carboni per tona disminueixi en un 11 % i que passi de 221 a 197 kg CO₂ equiv./t. La millora en la petjada de carboni per tona es pot explicar per la disminució de les emissions generades, gràcies als canvis en el model de gestió, i per l'augment de les emissions evitades, gràcies a la millora de la recuperació de materials als ecoparcs.

En el cas de la petjada de carboni de la gestió dels residus municipals per habitant, en el període 2011-2013 s'observa una reducció del 21 % fins a arribar als 94 kg CO₂ equiv./hab., fruit de la davallada en la generació de residus (de l'11 %) i la disminució de les emissions per tona de residus gestionats.

En l'àmbit municipal, s'ha observat que el 80 % dels municipis catalans tenen una petjada de carboni de 38 a 296 kg CO₂ equiv./hab. l'any 2013. La figura 17.2.a mostra el mapa de les comarques de Catalunya, que s'agrupen en cinc grups segons la petjada de carboni de la gestió de residus municipals per habitant l'any 2013. En aquest mapa es pot observar que les comarques amb una dependència més gran dels dipòsits controlats presenten petjades de carboni més elevades (com, per exemple, l'Alt Empordà, el Baix Empordà, la Cerdanya, la Vall d'Aran i l'Anoia). Alhora, s'observa que les comarques amb més recollida selectiva (com ara la Terra Alta, Osona i la Segarra) o que pràcticament no envien residus a dipòsits controlats (com ara el Gironès, el Tarragonès, el Maresme i el Barcelonès) presenten petjades de carboni més petites. També a escala comarcal la figura 17.2.b presenta les emissions generades i la figura 17.2.c, les emissions evitades.

L'anàlisi estadística dels resultats a escala municipal mostra que la variable que té més correlació amb la petjada de carboni per habitant és la quantitat de fracció restant dipositada a dipòsit controlat, una variable que permet explicar per si sola fins al 84 % de la variació en la petjada de carboni per

habitant (model de regressió: petjada de carboni [kg CO₂ equiv./hab any] = 0,59 × fracció restant dipositada [kg/(hab any)] + 17,85; R² = 0,843). En segon lloc, destaca la correlació amb la generació de residus per habitant i l'índex de recollida selectiva. Per tant, si es vol incidir en la petjada de carboni de la gestió dels residus convé incidir especialment en aquestes tres variables.

17.6. L'estalvi d'emissions en el reciclatge

Reducir el consum de productes és la millor manera de reduir el consum de recursos. Per aquest motiu, reduir el consum de recursos als nostres sectors productius, en la vida quotidiana i en general en totes les activitats humanes ha de continuar sent una prioritat política, econòmica i ambiental. Però no ha estat fins que la crisi econòmica globalitzada s'ha fet evident que s'ha començat a actuar políticament per tal de ser més eficients i respectuosos amb el medi ambient. La identificació dels residus com a recursos valuosos pot ajudar a reduir el consum de recursos i, en conseqüència, els diferents impactes ambientals, entre els quals l'impacte en l'escalfament global del planeta generat per les emissions de GEH. Perquè el residu esdevingui de nou un recurs és imprescindible recollir-lo, classificar-lo en fraccions similars i donar-li un nou ús; en definitiva, reutilitzar-lo o reciclar-lo. La reutilització dels materials pot comportar grans estalvis d'emissions de GEH: com més vegades es reutilitza un producte més estalvi s'hi associa, a causa de la possibilitat d'allargar-ne la vida útil i d'evitar que esdevingui un residu que caldrà tractar. No obstant això, el fet de

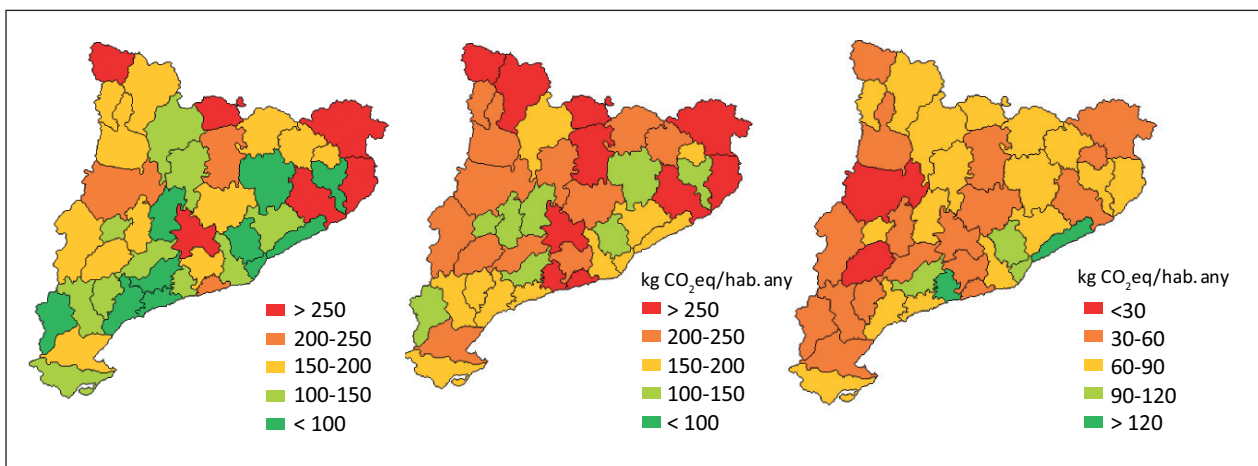


FIGURA 17.2. a) Petjada de carboni (emissions generades i evitades) de la gestió de residus municipals de les comarques de Catalunya (2013); b) emissions generades (directes i indirectes), i c) emissions evitades.

reutilitzar, igual com reciclar, implica un esforç tecnològic i sobretot logístic que generarà emissions de GEH. Estudis preliminars del grup de recerca Sostenipra han comparat les etapes de recollida i de logística abans del lliurament dels envasos a la planta classificadora d'envasos de dos sistemes de gestió d'envasos municipals basats en: a) el foment del reciclatge i b) el foment de la reutilització. Els resultats principals d'aquests estudis preliminars van mostrar que en els casos de percentatges baixos de recollida selectiva d'envasos (inferiors al 40 %) el sistema de reciclatge presentava menys impactes en les dues etapes analitzades que els sistemes de reutilització en què la recollida i la selecció en origen es realitzava sense la compactació de l'envàs. No obstant això, en escenaris de recollida selectiva d'envasos amb un percentatge superior al 40 % s'observava que l'impacte dels sistemes de reutilització era inferior al dels sistemes de recollida i de gestió preparats pel reciclatge.

Reciclar comporta la recuperació de materials i evita que siguin gestionats per mitjà d'un tractament finalista com ara l'abocador o la incineració. Els tractaments finalistes són emissors nets de GEH que segons la fracció de residus tractada, com hem vist als apartats 17.4 i 17.5, produiran més o menys emissions de GEH. Per aquest motiu, reciclar és donar una segona oportunitat a aquests materials i comporta evitar les emissions netes dels tractaments finalistes. L'altre punt d'estalvi d'emissions de GEH generat pel reciclatge es basa en el fet que el reciclatge evita la producció de matèria primera i el consum de recursos. En aquesta afirmació s'ha de precisar quina quantitat d'emissions de GEH estalviades i quina contribució a la mitigació de l'impacte de l'escalfament global es pot atribuir a aquest aprofitament dels residus com a recurs. La quantitat atribuïble depèn de variables tècniques (com ara la qualitat del material reciclat, les aptituds físiques i químiques del material reciclat per a ser aplicat de nou a la producció de productes i serveis, etc.) i d'altres variables relacionades amb les dinàmiques dels mercats econòmics, que influeixen en la localització geogràfica a escala mundial on finalment seran aprofitats com a recursos nous (com, per exemple, el preu del material verge amb què competeix, el preu d'adquisició del nou recurs reciclat, la logística des del punt de reciclatge fins al país on s'aprofita, la tec-

nologia i el procés productiu de la matèria verge que substitueix, etcètera).

A Catalunya, la tendència dels darrers anys ha consistit a exportar part dels residus recuperats al nostre país a països on es pagava un preu superior per materials recuperats com ara el paper, el cartró, l'alumini i el plàstic. En els escenaris plantejats en aquest apartat, i d'acord amb les dades de Datacomex, del Ministeri de Comerç Interior, només un part d'aquests materials s'aprofiten com a matèries primeres a Catalunya o a l'Estat espanyol. Per a fer cara al repte de conèixer i quantificar d'una manera precisa l'estalvi de les emissions de GEH, és necessari disposar d'eines i de metodologies de quantificació que permetin abordar els dos aspectes principals mencionats anteriorment:

- Conèixer la quantitat de residus recuperats a Catalunya i la destinació final on seran valoritzats com a matèria primera i substituiran el material verge.
- Identificar la tipologia de matèria primera i la quantitat i la tecnologia de producció que evitaran.

A continuació es presenta la metodologia proposada des del grup de recerca Sostenipra (Seigné *et al.*, 2014; Seigné *et al.*, 2015) i els valors de l'estalvi de l'impacte en escalfament global a causa del reciclatge en tres fraccions de materials: el paper, el plàstic i l'alumini, per a l'any 2013. S'ha adaptat la metodologia desenvolupada per a Espanya a Catalunya i s'ha considerat que el mercat català té la mateixa dinàmica que l'espanyol pel que fa a aquests productes.

17.6.1. La metodologia

Aquesta metodologia consisteix en la combinació de dues metodologies quantitatives: a) l'anàlisi de fluxos de materials (MFA) dinàmica, per a monitorar tendències i dinàmiques en les matèries primeres, els productes i els residus al lloc on es produeix el reciclatge dels residus i l'aprofitament com a recursos, i b) l'ACV, que permet quantificar el balanç de totes les emissions generades en el reciclatge i les evitades en el no-consum de matèria verge.

L'MFA dinàmica implica la identificació i la quantificació dels fluxos de residus d'interès per a l'estudi, a més de la generació, la recuperació a les plantes

de triatge i l'aprofitament a la destinació, tant a Catalunya i a Espanya com a països estrangers, any rere any per a recollir els canvis de fluxos dels materials influenciats per la dinàmica dels mercats de residus.

Per al càlcul de les emissions de GEH evitades amb una aproximació d'ACV, cal identificar la tecnologia de producció del material verge afectada que s'evita, també denominada *tecnologia marginal*. La tecnologia marginal és la més sensible als canvis de demanda del mercat:

- En el cas del paper, la tecnologia afectada és la polpa verge de fibres curtes procedent de fusta dura, ja que la qualitat de fibra reciclada no permet la substitució de fibres de polpa llarga. La tecnologia marginal identificada (Reinhard *et al.*, 2010) és la pasta de paper Kraft blanquejada (BEKP) del Brasil, i es considera que una tona de polpa reciclada evita 0,80 tones de polpa marginal. Els resultats que s'obtenen de l'MFA del paper permeten observar l'oferta i la demanda del residu recuperat. S'han realitzat MFA entre els anys 2006 i 2011 i s'ha definit un escenari en el qual el paper és aprofitat a Catalunya i a l'estranger (la Xina i Holanda). Incrementar el reciclatge a Catalunya evita la producció de BEKP a Catalunya quan el reciclatge es produeix a Catalunya i evita la producció de BEKP al Brasil quan el reciclatge es produeix a la Xina o a Holanda (Sevigné *et al.*, 2014b).
- En el cas de l'alumini, es considera que l'alumini recollit selectivament a Catalunya pot evitar la producció primària d'alumini a Catalunya i afectar els productors de bauxita a la Xina, a Austràlia i al Brasil, a més d'afectar la mateixa producció i fusió d'alúmina a Espanya. Es considera que una tona de ferralla substitueix la producció de 0,95 t de producció primària d'alumini marginal (Sevigné *et al.*, 2014a).
- En el cas del plàstic, es considera que una tona de plàstic reciclat pot substituir una tona de plàstic verge (Sevigné *et al.*, 2015).

17.6.2. Els crèdits del material recuperat

La figura 17.3 mostra el pes total dels residus de paper, de plàstic i d'alumini municipals i industrials recollits selectivament i recuperats l'any 2013 a Catalunya. Els resultats de l'MFA aplicada a les tres fraccions i als residus recuperats (paper, plàstic i alumini) mostren que el percentatge d'exporta-

ció d'aquestes fraccions és del 38 % en el cas del paper, del 25 % en el cas del plàstic i del 57 % en el cas de l'alumini. Com s'observa a la figura, una part important dels residus recuperats a Catalunya acaben a la Xina.

Aquesta recuperació, recollida selectiva, classificació i recuperació a les plantes de tractament comporta un impacte pel que fa als GEH. La taula 17.4 mostra l'impacte associat a la gestió d'aquests residus. Gestionar i reciclar una tona de paper genera unes emissions de GEH de 350 kg CO₂ equiv.; gestionar i reciclar una tona de plàstic, de 745 kg CO₂ equiv., i gestionar i reciclar una tona d'alumini, de 1.280 kg CO₂ equiv. En totes tres fraccions el reciclatge contribueix a més del 50 % de les emissions generades de GEH. Aquest impacte implica, per a l'any 2013, una emissió de GEH de 218.004 t CO₂ equiv. per la gestió del paper, de 175.924 t CO₂ equiv. per la gestió del plàstic i 87.450 t CO₂ equiv. per la gestió de l'alumini. En el cas del plàstic, s'ha considerat l'impacte de la incineració, ja que, com mostra la figura 17.3.b, hi ha un flux important de plàstic procedent de les plantes de selecció que s'acaba incinerant i aquest flux no es produeix ni amb el paper ni amb l'alumini recollits selectivament o recuperats en plantes de TMB.

Amb relació als crèdits de GEH, el balanç entre els generats (taula 17.4) i els evitats, s'observa que l'alumini és la fracció de residus que genera més crèdits, amb -12.580 kg CO₂ equiv. per tona, en comparació dels -354 kg CO₂ equiv. per tona de plàstic o dels -46 kg CO₂ equiv. per tona de paper. Aquests crèdits s'obtenen tenint en compte que s'exporta fora de Catalunya i d'Espanya el 38 % del paper, el 25 % del plàstic i el 57 % de l'alumini, i que els crèdits evitats (valors no mostrats) a cada país depenen de la tecnologia i de la combinació energètica. Aquests valors tenen un cert marge d'incertesa, ja que no és fàcil determinar el producte substituït (mercat local - mercat global); en el cas del paper, per exemple, podria anar dels 46 kg CO₂ equiv. per tona (escenari global) als 317 kg CO₂ equiv. per tona (escenari local).

Com s'observa a la figura 17.4, l'exportació de residus pot fer variar el valor del crèdit de GEH obtingut. Quan s'exporta paper i plàstic, les tecnologies de reciclatge xineses i europees són similars a les

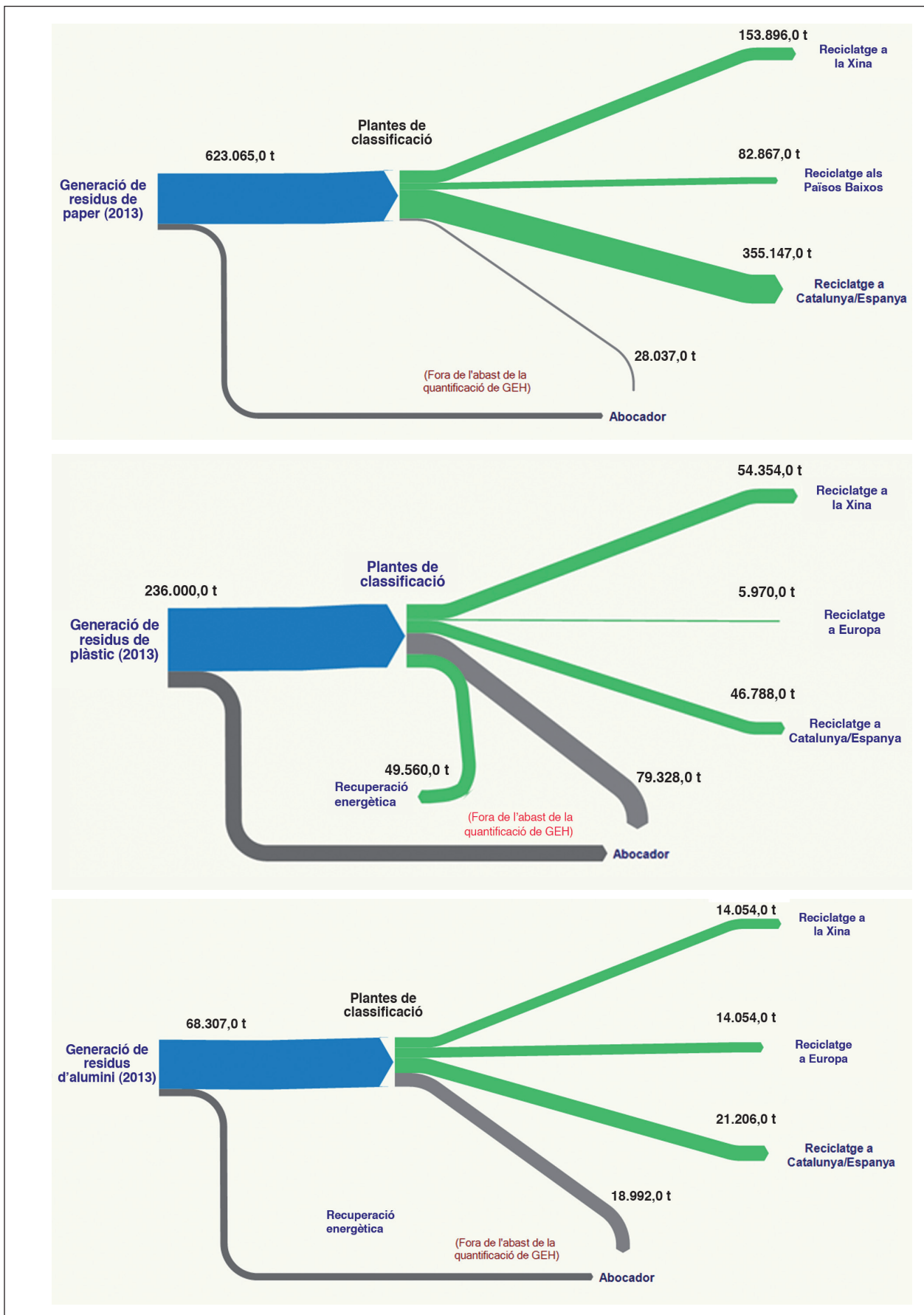


FIGURA 17.3. Flux dels residus municipals i industrials de a) paper, b) plàstics i c) alumini recollits selectivament a Catalunya durant l'any 2013.

TAULA 17.4. Impacte de la gestió i el reciclatge de les fraccions de paper, plàstic i alumini

	Paper (kg CO₂ equiv. t⁻¹)	Plàstic (kg CO₂ equiv. t⁻¹)	Alumini (kg CO₂ equiv. t⁻¹)
Gestió de residus	126	100	120
Recollida, classificació i abocador	74	94	94
Transport nacional	52	7	25
Reciclatge	224	148	1.161
Transport internacional	58	23	257
Reciclatge a Catalunya/Espanya	46	22	361
Reciclatge a Europa	-2	2	253
Reciclatge a l'Àsia (Xina)	122	101	290
Incineració	s/d	497	s/d
Total	350	745	1.280

Font: Adaptat de Sevigné-Itoiz *et al.* (2015a), Sevigné-Itoiz *et al.* (2015b) i Sevigné-Itoiz *et al.* (2014).

catalanes amb relació a les emissions de GEH que emeten per reciclar una tona de paper i plàstic. Aquest fet comporta que el transport internacional, el moviment dels residus de Catalunya a la Xina i/o a Europa, provoqui que, com més exportem, menys impacte evitat generem. En el cas del paper, si s'exportés el 100 % dels residus de paper recollits a Catalunya fins i tot generariem un impacte i una emissió neta de GEH.

El reciclatge dels residus comporta impactes evitats de GEH en tots els casos, tot i que per a algunes fraccions, com ara el paper i el plàstic, aquest impacte és més gran com més material es recupera a Catalunya. Per contra, quan exportem l'alumini que hem recuperat a Catalunya evitem una producció d'alumini primari mundial, principalment també a la Xina, molt contaminant (a causa d'una combinació energètica amb predomini del carbó) pel que fa a les emissions de GEH. Per aquest motiu, com més alumini s'exporta més impacte s'evita, tot i que a escala catalana perdem una gran quantitat de material que podria ser reciclat per la nostra indústria.

17.7. El cicle urbà de l'aigua: aigua potable i aigua residual

El cicle urbà de l'aigua comprèn diverses etapes, des de l'extracció d'aigua per al consum fins a la descàrrega al medi ambient després de l'ús. Primer, l'aigua s'obté d'un riu, d'un canal, d'un pou,

d'una mina, d'un embassament o, fins i tot, del mar, mitjançant la dessalinització, i es transporta a l'estació de tractament d'aigua potable (ETAP), on es tracta perquè assoleixi la qualitat necessària per a l'aigua de consum (aigua potable). Llavors es transporta per mitjà de la xarxa primària cap als nuclis urbans i es distribueix per mitjà de la xarxa secundària als punts de consum de tota l'àrea urbana. Un cop a l'àrea urbana, l'aigua s'utilitza a les llars, els comerços, les indústries i les instal·lacions públiques. Després, l'aigua utilitzada (aigua residual) es recull i es transporta pel clavegueram fins a l'estació depuradora d'aigües residuals (EDAR), on es depura amb la qualitat necessària perquè pugui ser retornada a la natura o reutilitzada.

La guia per al càlcul de les emissions de GEH derivades del cicle de l'aigua de les xarxes urbanes a Catalunya (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015) assenyala un factor d'emissió de 395 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida, que amb el volum d'aigua consumit a Catalunya l'any 2013 (558.580.789 m³; ACA, 2014) implica unes emissions de 220.639 t CO₂ equiv./any i de 29 kg CO₂ equiv./hab. any).

17.7.1. L'impacte del cicle de l'aigua urbana en les emissions de GEH

En general, les infraestructures de subministrament d'aigua potable consten de les etapes següents (PVICSACH, 2005): 1) l'extracció de l'aigua de les

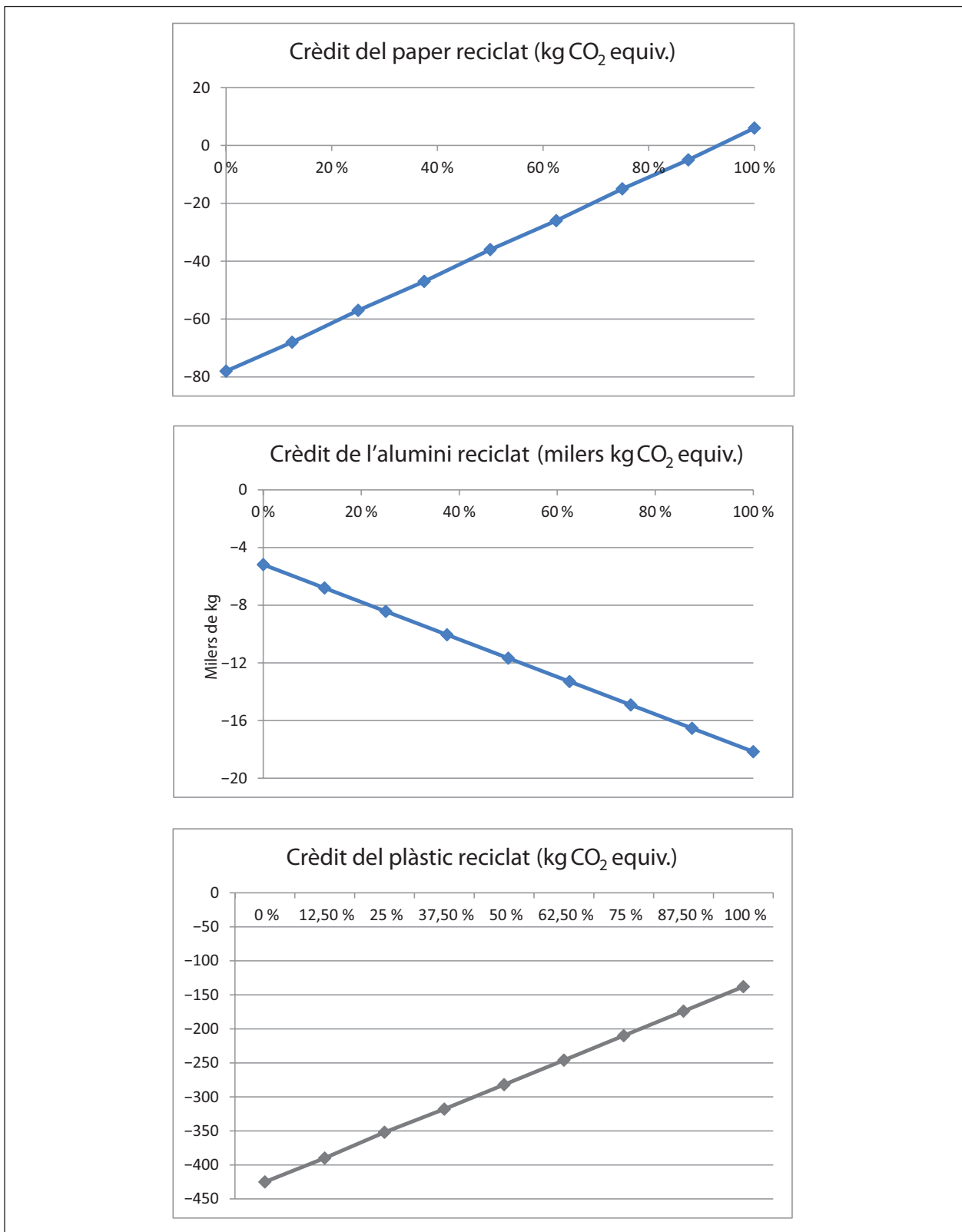


FIGURA 17.4. Variació del crèdit de GEH per paper (kg CO₂ equiv. per tona de paper), alumini (miler kg CO₂ equiv. per tona d'alumini) i plàstic (kg CO₂ equiv. per tona de plàstic) reciclats segons diferents percentatges d'exportació.

fonts superficials (com ara rius o embassaments), de les fonts subterrànies (com ara pous o mines) o d'altres fonts (com ara la dessalinització o les

aigües pluvials), cosa que comporta un conjunt de zones de protecció i d'instal·lacions que permet l'obtenció i el transport de l'aigua natural per

a destinar-se a la producció d'aigua per al consum humà; 2) les ETAP, on l'aigua es tracta per fer-la apta per al consum; 3) l'emmagatzematge en dipòsits; 4) la xarxa de distribució, formada pel conjunt de canonades d'impulsió i de distribució per gravetat i per altres components individuals (com, per exemple, bombaments, vàlvules i boques) que transfereixen l'aigua potable de l'ETAP al punt de consum, i 5) el subministrament al teixit urbà i domiciliari, representat per les canonades, els dipòsits, les connexions i els aparells instal·lats després de la connexió de servei i la clau de pas corresponent, que enllaça amb la xarxa de distribució.

D'altra banda, les infraestructures de sanejament consten de: 1) el clavegueram i les xarxes d'aigües pluvials, i 2) les EDAR, on es tracten les aigües residuals. Tots els contaminants presents a les aigües residuals s'han de recollir i transportar mitjançant les xarxes de clavegueram, que, per mitjà dels col·lectors, els condueixen fins a les EDAR, on es tracten perquè la concentració compleixi els límits establerts per la legislació (Directiva 91/271/CEE) abans d'arribar al medi receptor.

Pel que fa al clavegueram, cal esmentar que existeixen xarxes unitàries (les més habituals a Catalunya), en les quals l'aigua residual i l'aigua de pluja es recullen per mitjà de la mateixa canonada, i xarxes de clavegueram separatives, en les quals l'aigua residual i l'aigua de pluja circulen per canonades diferents (una part del clavegueram de Sitges n'és un exemple). A més, a una xarxa de clavegueram hi pot haver diversos elements constructius: 1) els col·lectors en alta (el clavegueram pressuritzat), 2) els col·lectors per gravetat, 3) les estacions de bombament i 4) els pous de registre, els quals presenten característiques diferents (com ara aeròbiques, anaeròbiques o anòxiques, entre d'altres).

Les EDAR generalment disposen d'una sèrie de processos encadenats de tractament de l'aigua residual que constitueixen la *línia d'aigües*, en la qual es generen uns fangs o llots que es tracten mitjançant una altra sèrie de processos específics que constitueixen la línia de fangs (Gabarrell *et al.*, 2010). Com s'ha esmentat, el factor d'emissió del cicle de l'aigua de les xarxes urbanes a Catalu-

nya és de 395 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015). Aquest factor d'emissió es pot completar per a incloure-hi les emissions de totes les etapes del cicle de vida de l'aigua mitjançant: 1) la construcció (materials i tipus) i el desmantellament de les instal·lacions associades al cicle integral de l'aigua i les obres en general; 2) l'extracció, la producció i el transport dels combustibles fòssils utilitzats a totes les etapes del cicle de l'aigua; 3) la fabricació i el transport dels materials i dels additius necessaris per a la gestió del cicle integral de l'aigua, i 4) el sistema de clavegueram, entre d'altres.

Durant els últims anys, el nombre d'estudis d'ACV de l'etapa de subministrament de l'aigua potable ha augmentat, en particular, pel que fa a l'anàlisi de les diferents estratègies sostenibles per a la producció d'aigua potable a partir de fonts diverses i pel que fa a la identificació dels punts crítics que contribueixen a l'impacte ambiental del cicle de l'aigua. D'acord amb la bibliografia existent, els impactes ambientals del sistema de subministrament d'aigua potable deriven de: 1) la font de l'aigua utilitzada (com ara l'aigua dolça, l'aigua dessalinitzada, l'aigua pluvial, etc.); 2) el tipus de tecnologia de potabilització i la mida de l'ETAP (en termes de flux d'aigua o de població servida); 3) el tipus de construcció, materials emprats i mida del clavegueram de subministrament, i 4) les diferències de qualitat que hi pugui haver entre l'aigua crua i l'aigua potabilitzada. Sanjuan-Delmás *et al.* (2015) van estimar que el consum elèctric² de la distribució d'aigua potable, a partir d'una mostra de municipis d'Espanya, depenia de la població servida en un interval de 98 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida (10.000 habitants-equivalents) a 34 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida (10.000-50.000 habitants-equivalents); aquest interval inclou el valor mitjà de 73 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida mostrat per Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2015) per a l'any 2013. Altres factors que cal tenir en compte són: l'estacionalitat, la densitat de població, el tipus de clima, l'orografia del terreny i l'ingrés *per capita* (Sanjuan-Delmás *et al.*, 2015). A més a més, el tipus de solució constructiva (pel que fa a materials, diàmetres, etc.) emprada o que es pot emprar a la

2. Per al càlcul s'utilitzaven dades de la combinació energètica espanyola del 2011, és a dir, uns 366 g CO₂/kWh.

xarxa de distribució d'aigua potable té una influència molt gran en les emissions derivades d'aquestes infraestructures (Sanjuan-Delmás *et al.*, 2014).

Similarment, la bibliografia més recent assenyalava que les emissions directes del clavegueram no són pas negligibles (Eijo-Rio *et al.*, 2015) i que poden significar més de 3,4 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida només a l'entrada de les EDAR. D'altra banda, el tipus de solució constructiva triada (materials, accessoris, instal·lació, fi de vida útil, etc.) per al clavegueram d'una ciutat determinada té un paper clau en les emissions indirectes generades. Així, Petit-Boix *et al.* (2014) varen determinar emissions de 2.100 g CO₂ equiv./m³ d'aigua residual tractada (1.600 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida) per a una solució constructiva basada en canonades de plàstic instal·lades en rases de formigó. Pel que fa a l'energia consumida per a transportar l'aigua residual des de les llars fins a les EDAR, Petit-Boix *et al.* (2015) varen assenyalar un valor mitjà de 39 g CO₂ equiv./m³ d'aigua residual tractada (125 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida). La figura 17.5 integra aquests valors juntament amb els de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2015); així, doncs, el factor d'emissió de GEH global del cycle de l'aigua podria arribar a ser de 2.148,4 g CO₂ equiv./m³ d'aigua consumida o més. Aquestes incerteses en les dades impliquen que esdevingui imprescindible continuar treballant en els estudis globals del cycle urbà de l'aigua a Catalunya.

17.7.2. *Nous esquemes de tractament de les aigües residuals urbanes*

D'una banda, una EDAR urbana actual requereix un consum energètic de 8 a 15 kWh/(hab. any) per a eliminar la matèria orgànica, el nitrogen i el fòsfor fins als límits legals d'abocament amb les tecnologies clàssiques (fangs actius, nitrificació-desnitrificació i precipitació química de fòsfor). D'altra banda, les emissions de GEH o de contaminants al medi aquàtic receptor poden variar segons el funcionament de les etapes d'eliminació de nitrogen i fòsfor i de tractament de fangs. Així, doncs, el repte és redissenyar les EDAR urbanes perquè, mantenint els nivells d'abocament requerits, passin a ser productores netes d'energia en comptes de consumidores i, al mateix temps, esdevinguin recuperadores de nutrients. Per tant, aquesta EDAR energèticament autosostenible o fins i tot produc-

tora neta d'energia ha d'utilitzar la major part de la matèria orgànica continguda en l'aigua residual per a la producció de biogàs. Això s'aconsegueix amb una primera etapa biològica d'alta eficàcia, en la qual el consum d'oxigen és el més petit possible i en la qual es produeix una gran quantitat de fang amb un potencial metanogènic elevat que es pot aprofitar en una DA posterior. En conseqüència, l'EDAR haurà d'eliminar biològicament el nitrogen d'una manera autotròfica a la línia principal d'aigües, és a dir, sense necessitat de matèria orgànica. Paral·lelament, l'eliminació de fòsfor hauria de deixar de ser una precipitació química en el tractament terciari de les EDAR i esdevenir una recuperació de fòsfor en forma de fertilitzant. Per a la implementació de l'eliminació biològica autotròfica del nitrogen, hi ha dues opcions: I) els sistemes d'una etapa, com ara el Canon (Lotti *et al.*, 2014) i l'Oland (Clippeleir *et al.*, 2013), o II) els sistemes de dues etapes amb nitrificació parcial (Isanta *et al.*, 2015) i un procés d'anammox. Els sistemes d'una etapa presenten inestabilitat a temperatures inferiors a 15 °C (Clippeleir *et al.*, 2013), mentre que els sistemes de dues etapes no tenen aquest inconvenient (Isanta *et al.*, 2015). Les dues opcions s'estan demostrant a escala pilot en els projectes LIFE11 ENV/NL/000785-CENIRELTA («Cost effective nitrogen removal from waste water by low-temperature anammox») i LIFE14 ENV/ES/000633-SAVING-E («Two-stage autotrophic N-removal for mainstream sewage treatment»).

17.8. **Conclusions**

El consum sostenible de productes ecodissenyats és la millor manera d'evitar la generació de GEH. A més, aquests darrers anys s'ha començat a utilitzar l'ACV com a metodologia per a avaluar les diferents tecnologies per a la gestió i el tractament dels residus, si bé encara no s'ha generalitzat ni s'ha tingut prou en compte als plans de gestió dels residus. Diversos factors han incidit positivament en les emissions de GEH a Catalunya: la reducció en la generació *per capita* de residus, la millora en la recollida selectiva fins al 38-40 % i la disminució de les aportacions a dipòsit controlat, tot i que encara és un dels tractaments majoritaris si es tenen en compte els residus secundaris.

El potencial de reducció d'emissions de GEH que es pot aconseguir mitjançant la recuperació de

Etapa del cicle urbà de l'aigua	Procés	Dades de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (2015)	Dades trobades a la bibliografia més recent
Sistema de subministrament	Captació d'aigua de les fonts subterrànies/captació d'aigua del mar i dessalinització	29 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (només considera el consum elèctric de la captació)	29 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015)
	ETAP	50 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (només considera el consum elèctric de la potabilització)	50 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015)
	Xarxa de distribució (en alta i en baixa)	73 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (només considera el consum elèctric de la distribució)	34-98 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Sanjuan-Delmás <i>et al.</i> , 2015; consum elèctric de la distribució)
	Subministrament domiciliari	—	—
Consum		—	—
Sistema de sanejament	Clavegueram	0 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida	Emissions directes: 3,4 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Eijo-Río <i>et al.</i> , 2015). Emissions indirectes: 1.600 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Petit-Boix <i>et al.</i> , 2014; per a una solució constructiva basada en canonades de plàstic instal·lades en rases de formigó) i 125 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Petit-Boix <i>et al.</i> , 2015; energia consumida en el transport d'aigua residual)
	Tractament d'aigües residuals	134 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (només considera el consum elèctric del bombament i les EDAR, les emissions de metà i nitròs al tractament secundari, les emissions de metà de la DA i les emissions de metà i nitròs a les torxes de combustió)	134 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015)
Retorn al medi		107 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida	107 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015)
Reutilització		2 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida	2 g CO ₂ equiv./m ³ aigua consumida (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2015)
Total		395 g CO₂ equiv./m³ aigua consumida	2.148,4 g CO₂ equiv./m³ aigua consumida

FIGURA 17.5. Emissions del cicle urbà de l'aigua.

biogàs no és gens negligible, especialment tenint en compte la possibilitat d'utilitzar, també, residus per a purificar el biogàs. Una estratègia més bona comporta concentrar esforços en la recuperació de biogàs a les plantes de TMB i de digestió anaeròbica i als abocadors, així com en la utilització de biogàs com a font d'energia amb l'eficiència més alta (per exemple, com a substitut del gas natural).

La reducció de les emissions de GEH en la gestió de la FORM comporta inevitablement una millora en la qualitat de la FORM recollida i, per tant, en l'ús d'un sistema de recollida i d'uns mitjans de transport més eficients, per a una optimització del control del procés i per a un dimensionament correcte de les instal·lacions perquè es puguin complir els temps necessaris per a estabilitzar la matèria orgànica biodegradable. El bioestabilitzat és el flux de residus secundaris que més ha augmentat en els darrers anys, però la poca qualitat en limita els usos.

La gestió de les plantes de tractament és un factor determinant amb vista a optimitzar les emissions de GEH en la gestió dels residus. El consum d'energia s'incrementa en augmentar la complexitat de la instal·lació; d'una manera inversa, les emissions directes de GEH disminueixen en augmentar la complexitat de la instal·lació.

La petjada de carboni per habitant a causa de la gestió dels residus se situa al voltant del centenar de kg CO₂equiv./hab. l'any 2013. Cal destacar que hi ha municipis i comarques que aconsegueixen millorar aquests valors mercès a la recollida selectiva i al reciclatge. L'estalvi de les emissions en l'àmbit de Catalunya pot ser qüestionat per les dinàmiques dels mercats globals, de manera que les tones evitades de CO₂equiv. per haver reciclat un material no solament depenen de l'anàlisi d'un procés o d'una tecnologia, sinó que cal tenir en compte tots els factors que hi conflueixen.

Les emissions i el consum elèctric associats a les aigües residuals poden disminuir si reduïm el consum global d'aigua potable i també si: I) gestionem el clavegueram d'una manera eficient des de la planificació i la construcció fins a l'operació i el manteniment, o si II) apliquem sistemes d'eliminació autotròfica de nitrogen a la línia principal

d'aigües de les noves EDAR que es projectin en el futur o de les instal·lacions actuals que es redissenyin. L'aplicació d'aquestes mesures és clarament incompleta si no es tenen en compte, també, les instal·lacions de potabilització i distribució de l'aigua de consum humà.

17.9. Recomanacions

El procés d'eliminació dels abocaments de les activitats econòmiques i socials només pot tenir èxit si s'interioritza una visió cíclica: cal abandonar el model lineal de producció i consum i substituir-lo pel model del cicle de la natura. Més recentment, algunes institucions i grups han utilitzat el terme *economia circular* per a referir-s'hi i fixar-ho com a objectiu, si bé encara no hi ha cap definició clara i unànime. Per tant, caldrà treballar per aprofundir-hi en els propers anys, en la mesura que es va incorporant a les agendes internacionals.

L'ACV fa una aportació important com a eina quantitativa al camp de l'ecodisseny i és aquí que la prevenció avança més ràpidament. Cal treballar sectorialment per tal que l'ecodisseny sigui el catalitzador de la producció i el consum sostenible. Es recomana promoure accions que involucrin la participació social per fomentar el mercat de productes de segona mà, els productes ecodissenyats i el consum sostenible.

A hores d'ara, el flux de residus que més millores pot aportar els propers anys és el dels residus d'origen ramader. La reducció de l'impacte d'aquests residus en les emissions de GEH dependria de l'estabilització prèvia a l'aplicació al sòl, ja que se n'obtidria biogàs com a font d'energia i un material més estabilitzat i ric en nutrients que es podria aplicar al sòl. Si bé s'ha demostrat que aquest objectiu és difícil d'assolir, caldria que les iniciatives endegades en aquesta direcció no depenguessin de les polítiques dels governs successius i que hi hagués una aposta clara per la valorització dels residus ramaders en forma de biogàs i de retorn de nutrients al sòl.

La prevenció és la millor estratègia per a reduir les emissions de GEH. Reutilitzar i reciclar és donar una segona oportunitat als materials i implica evitar les emissions netes dels tractaments finalistes, si bé aquestes emissions, com que no existeixen,

no es comptabilitzen. Reutilitzar permet, després d'aplicar els processos tecnològics per a recuperar els materials, evitar les emissions de GEH derivades de la producció de matèria primera dels tractaments finalistes, però també del reciclatge dels residus. Una vegada recuperats, els materials són amortitzats ics vegades, tantes com la tecnologia o les exigències del mercat permetin. En general, com més cops es reutilitzi un material abans d'esdevenir residu més impacte ambiental evitarem. Es recomana promoure estudis que permetin quantificar els estalvis i els beneficis que la prevenció, la reducció i la reutilització comporten en la reducció d'emissions de GEH, per exemple, però no exclusivament, en el camp dels envasos. També es recomana incorporar la visió dels diferents agents socials als estudis per tal d'arribar a conclusions de consens i duradores.

Cal continuar treballant per una millora en la qualitat de la FORM recollida i, per tant, en l'ús d'un sistema de recollida i d'uns mitjans de transport més eficients (sense oblidar que el responsable principal d'aquesta separació és el mateix ciutadà), per a una optimització del control del procés i per a un dimensionament correcte de les instal·lacions perquè es puguin complir els temps necessaris per a estabilitzar la matèria orgànica biodegradable. Es recomana incorporar els factors d'emissió de les plantes locals a la CO2ZW® per calcular la petjada de carboni.

La fracció restant presenta unes característiques força diferents segons el lloc d'origen. Caldria, d'una banda, concentrar esforços per tal que aquesta fracció contingui la quantitat més petita possible de matèria biodegradable. D'altra banda, cal avaluar a partir de dades reals quina de les vies possibles de gestió (com ara la bioestabilització, l'abocador, la valorització energètica, etc.) d'aquest residu presenta l'impacte ambiental més petit per tal de planificar d'una manera correcta la gestió futura, tenint en compte el cicle de vida del producte.

Es recomana utilitzar el mapa comarcal (i també el municipal) de la petjada de carboni en la gestió dels residus per a incentivar les bones pràctiques de les àrees en què s'estan aconseguint resultats propers a les emissions zero de GEH en el cicle dels residus. A la vegada es recomana quantificar

el transport real de la fase de recollida i el transport dels residus secundaris per tal de poder ajustar més bé els processos de millora.

També es recomana aprofundir en els estudis per determinar anualment les emissions evitades a causa del reciclatge dels materials principals. Caldria determinar un valor anual i consensuat que tingués en compte les destinacions dels residus recollits a Catalunya, el lloc on es recuperen i els productes que realment substitueixen al mercat. Caldria incorporar aquests factors o valors de crèdit a les eines de càlcul de la petjada de carboni del sistema de gestió de residus.

Per a poder dissenyar estratègies de reducció de les emissions del cicle urbà de l'aigua, encara cal aconseguir dades reals de molts processos que fins ara no s'han tingut en compte. Per tant, cal continuar estudiant les emissions del cicle urbà de l'aigua i considerar no solament els factors esmentats abans sinó també altres factors com ara: 1) la font de l'aigua utilitzada (aigua dolça, aigua des-salinitzada, aigua pluvial, etc.) per a la producció d'aigua potable, 2) el tipus de tecnologia de potabilització i la mida de l'ETAP i l'EDAR (en termes de flux d'aigua o de població servida), 3) el tipus de construcció, els materials emprats i la mida del clavegueram de subministrament, 4) les diferències de qualitat entre l'aigua crua i l'aigua potabilitzada i entre l'aigua residual i l'ús final, 5) l'estacionalitat, 6) la densitat de població, 7) el tipus de clima, 8) l'orografia del terreny i 9) l'ingrés *per capita*.

Finalment, i tenint en compte la incidència que l'energia —i molt especialment l'energia elèctrica— té a molts dels processos i els serveis, es recomana actualitzar el factor d'emissió mitjà a una funció dinàmica que tingui en compte les diverses franges horàries.

Referències bibliogràfiques

ACA = AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2008). *L'aigua a Catalunya: Diagnosi i propostes d'actuació: Esquema provisional dels temes més importants que es plantegen en la redacció del Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya: En compliment a l'article 14 (b) del Reglament*

- de Planificació Hidrològica (Decret 380/2006)* [en línia]. <http://www.urv.cat/media/upload/arxius/W-Catedra_DOW_URV/Informes%20VIP/agencia_cat_aigua_-_aigua_a_catalunya.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- (2012). *Memòria d'explotació 2012* [en línia]. <http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/depuradores_servei/resumdadessanejament2012.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- (2014). *Estudi de volums d'aigua i cens d'entitats subministradores de Catalunya: Any 2013* [en línia]. <http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/eess/eess_cens2013.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- ÁLVAREZ, M. D.; SANS, R.; GARRIDO, N. [et al.] (2008). «Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia». *Waste Management*, 28(2), p. 359-366.
- AMLINGER, F.; PEYR, S.; CUHLS, C. (2008). «Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment». *Waste Management & Research*, 26(1), p. 47-60.
- ARC = AGÈNCIA DE RESIDUS DE CATALUNYA (2014). *Estudi de la composició dels residus municipals de Catalunya*, [en línia]. <http://premsa.gencat.cat/pres_fsvp/docs/2014/12/10/19/04/41447cc5-e364-49eb-ac1d-dc82b1ef69f5.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- BAKY, A.; ERIKSSON, O. (2003). *Systems analysis of organic waste management in Denmark*. Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency.
- BARRENA, R.; FONT, X.; GABARRELL, X. [et al.] (2014). «Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability». *Waste Management*, 34(7), p. 1109-1116.
- BLENGINI, G. A. (2008). «Using LCA to evaluate impacts and resources conservation potential of composting: A case study of the Asti District in Italy». *Resources, Conservation and Recycling*, 52, p. 1373-1381.
- BOLDRIN, A.; ANDERSEN, J. K.; MOLLER, J. [et al.] (2009). «Composting and compost utilization: Accounting of greenhouse gases and global warming contributions». *Waste Management & Research*, 27, p. 800-813.
- CLIPPELEIR, H. DE; VLAEMINCK, S. E.; WILDE, F. DE [et al.] (2013). «One-stage partial nitrification/anammox at 15 °C on pretreated sewage: Feasibility demonstration at lab-scale». *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, p. 10199-10210.
- COLÓN, J.; CADENA, E.; POGNANI, M. [et al.] (2012). «Determination of the energy and environmental burdens associated to the biological treatment of source-separated municipal solid wastes». *Energy & Environmental Science*, 5(2), p. 5731-5741.
- DIGGELMAN, C.; HAM, R. K. (2003). «Household food waste to wastewater or to solid waste? That is the question». *Waste Management & Research*, 21, p. 501.
- EIJO-RÍO, E.; PETIT-BOIX, A.; VILLALBA, G. [et al.] (2015). «Municipal sewer networks as sources of nitrous oxide, methane and hydrogen sulphide emissions: A review and case studies». *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), p. 2084-2094.
- FONT VIVANCO, D.; PUIG VENTOSA, I.; GABARRELL DURANY, X. (2012) «Building waste management core indicators through spatial material flow analysis: Net recovery and transport intensity indexes». *Waste Management*, 32(12), p. 2496-2510.
- FRICKE, K.; SANTEN H.; WALLMANN, R. (2005). «Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment». *Waste Management*, 25, p. 799-810.
- GABARRELL, X.; ESCALER, I.; FONT, X. [et al.] (2010). «Residus». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Institut d'Estudis Catalans. També disponible en línia a: <http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/segon-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/3Part/20_residus.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2015a). «Consum interior brut d'energia. Per productes. 2009». A: *Web de l'estadística oficial de Catalunya* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/economia/inec?tc=3&id=8651>> [Consulta: 10 gener 2016].
- (2015b). «Evolució de la població». A: *Web de l'estadística oficial de Catalunya* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=245>> [Consulta: 10 gener 2016].

- INÈDIT (2014). *Petjada de carboni de la gestió i tractament dels residus municipals de Catalunya (2012-2013)* [en línia]. <http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/petjada_carboni_2012_2013.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- ISANTA, E.; REINO, C.; CARRERA, J. [et al.] (2015). «Stable partial nitrification for low-strength wastewater at low temperature in an aerobic granular reactor». *Water Research*, 80, p. 149-158.
- LOTTI, T.; KLEEREBEZEM, R.; ERP TAALMAN KIP, C. VAN [et al.] (2014). «Anammox Growth on Pretreated Municipal Wastewater». *Environmental Science & Technology*, 48, p. 7874-7880.
- MARTÍN-GONZÁLEZ, L.; CASTRO, R.; PEREIRA, M. A. [et al.] (2011). «Thermophilic co-digestion of organic fraction of municipal solid wastes with FOG wastes from a sewage treatment plant: Reactor performance and microbial community monitoring». *Bioresource Technology*, 102, p. 4734-4741.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2015). *Càlcul de les emissions de GEH derivades del cicle de l'aigua de les xarxes urbanes a Catalunya* [en línia]. <http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/campanyes_i_comunicacio/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Estudis_i_docs_mitigacio/Aigua_i_cc/150213_Metodologia-de-calcul-emissions-consum-aigua_CAT_vf.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- PETIT-BOIX A.; SANJUAN-DELMÁS, D.; CHENEL, S. [et al.] (2015). «Assessing the energetic and environmental impacts of the operation and maintenance of Spanish sewer networks from a life-cycle perspective». *Water Resources Management*, 29(8), p. 2581-2597.
- PETIT-BOIX, A.; SANJUAN-DELMÁS, D.; GASOL, C. M. [et al.] (2014). «Environmental assessment of sewer construction in small to medium sized cities using life cycle assessment». *Water Resources Management*, 28(4), p. 979-997.
- PUIG-VENTOSA, I.; FREIRE-GONZÁLEZ J.; JOFRA-SORA, M. (2013). «Determining factors for the presence of impurities in selectively collected biowaste». *Waste Management & Research*, 31(5), p. 510-517.
- SAN SEBASTIÁN, N. (2013). *Com fem l'autocompostatge a Catalunya? CompostARC 2013. Jornada sobre el cicle de la Fracció Orgànica dels residus municipals* [en línia]. <http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/materia_organica_form_-_fv/jornades__estudis_i_enllacos/compostarc_2013/3.1_1_1_nora_autocompostatge_def_amb_inici.pdf> [Consulta: 10 gener 2016].
- SANJUAN-DELMÁS, D.; PETIT-BOIX, A.; GASOL, C. M. [et al.] (2014). «Environmental assessment of different pipelines for drinking water transport and distribution network in small to medium cities: A case from Betanzos. Spain». *Journal of Cleaner Production*, 66, p. 588-598.
- (2015). «Environmental assessment of drinking water transport and distribution network use phase for small to medium-sized municipalities in Spain». *Journal of Cleaner Production*, 87, p. 573-582.
- SEVIGNÉ-ITOIZ, E.; GASOL, C. M.; FARRENY, R. [et al.] (2013). «CO2ZW: Carbon footprint tool for municipal solid waste management for policy options in Europe: Inventory of Mediterranean countries». *Energy Policy*, 56, p. 623-632.
- SEVIGNÉ-ITOIZ, E.; GASOL, C. M.; RIERADEVALL, J. [et al.] (2014). «Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market». *Resources, Conservation and Recycling*, 89, p. 94-103.
- (2015a). «Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): Case study of waste paper recycling». *Journal of Cleaner Production*, 105, p. 253-262.
- (2015b). «Contribution of plastic waste recovery to greenhouse gas (GHG) savings in Spain». *Waste Management*, 46, p. 557-567.
- SMET, E.; LANGENHOVE, H. VAN; BO, I. DE (1999). «The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste». *Atmospheric Environment*, 33, p. 1295-1303.
- STARR, K.; GABARRELL, X.; VILLALBA, G. [et al.] (2012). «Life cycle assessment of biogas upgrading technologies». *Waste Management*, 32, p. 991-999.
- STARR, K.; RAMÍREZ, A.; MEERMAN, H. [et al.] (2015). «Explorative economic analysis of a novel biogas

upgrading technology using carbon mineralization: A case study for Spain». *Energy*, 79, p. 298-309.

SWISS CENTER FOR LIFE CYCLE INVENTORIES (2010). *Ecoinvent database: The life cycle inventory data.*

Version 2.2 [en línia]. <<http://www.ecoinvent.org/database/older-versions/ecoinvent-version-2/ecoinvent-version-2.html>> [Consulta: 10 gener 2016].

18 Salut

Autors

Xavier Basagaña

Èrica Martínez

Krijn Paaijmans

Jordi Sunyer

Xavier Basagaña és doctor en bioestadística per la Universitat de Harvard (2007) i investigador del Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL). Les línies de recerca inclouen els efectes de la temperatura i la contaminació atmosfèrica en la salut i els mètodes estadístics en estudis epidemiològics. Ha participat i liderat nombrosos projectes de recerca nacionals i internacionals, i ha publicat més de cent articles en revistes científiques. És membre del Comitè d'Experts de l'Observatori de Salut i Canvi Climàtic del Govern d'Espanya.

Èrica Martínez és llicenciada en ciències i tècniques estadístiques per la Universitat Politècnica de Catalunya (2007) i màster en salut pública per la Universitat Pompeu Fabra (2013). És investigadora predoctoral del CREAL i desenvolupa la tesi en el marc del projecte del Fondo de Investigación Sanitaria (FIS) «Efectividad de las medidas de prevención para los efectos de las olas de calor en la salud».

Krijn Paaijmans és doctor en entomologia mèdica pel Grup de Meteorologia i Qualitat de l'Aire i el Laboratori d'Entomologia de la Universitat de Wageningen (Holanda) i investigador de l'Institut de Salut Global de Barcelona (ISGlobal). Va dur a terme la investigació postdoctoral en ecologia de les malalties al Centre de Dinàmica de Malalties Infeccioses de la

Universitat Estatal de Pennsilvània (EUA), i actualment ocupa el càrrec de professor assistent d'investigació a l'ISGlobal. El seu camp d'interès inclou la interacció de les malalties infeccioses i els insectes vectors amb l'entorn i l'afectació dels canvis en el medi ambient al risc de la malaltia per mitjà de múltiples escales. L'enfocament d'investigació incorpora totes dues perspectives, la biològica i la meteorològica, a més d'experiments manipulatius i models per a provar les hipòtesis clau. Els últims deu anys ha treballat àmpliament el tema dels efectes de la variabilitat del clima i el canvi climàtic en la dinàmica de les malalties infeccioses.

Jordi Sunyer és doctor en medicina i cirurgia per la Universitat de Barcelona (1980), on es va especialitzar en medicina familiar i comunitària. És codirector del CREAL i professor de medicina preventiva i salut pública a la Universitat Pompeu Fabra. És fundador i president de la cohort de nounats Infància i Medi Ambient (INMA) a Espanya i investigador principal en diversos estudis internacionals, com ara el projecte BREATHE, sobre el desenvolupament del cervell i la contaminació per partícules ultrafines en els escolars, finançat per un ajut Advanced Grant del Consell Europeu de Recerca. Centra la recerca en la freqüència i l'etiologia de l'asma i de la malaltia pulmonar obstructiva crònica (MPOC); en la contaminació de l'aire i les malalties cardiorespiratòries, i en els efectes

de les exposicions al començament de la vida en el desenvolupament neuroconductual. El 2014 va guanyar el premi més prestigiós d'àmbit mundial de medi ambient i recerca en salut, el Premi John Goldsmith,

per les contribucions destacades al coneixement i a la pràctica de l'epidemiologia ambiental.

Agraïments a Jose Muñoz i Carles Aranda.

Sumari

Síntesi	441
18.1. Introducció	442
18.2. Fenòmens extrems.....	442
18.2.1. Onades de calor	442
18.2.1.1. Importància	442
18.2.1.2. Evidència científica.....	444
18.2.1.3. Projeccions.....	445
18.2.2. Onades de fred.....	446
18.2.2.1. Importància	446
18.2.2.2. Evidència científica.....	446
18.2.2.3. Projeccions.....	447
18.3. Contaminació de l'aire	447
18.3.1. Partícules en suspensió	447
18.3.1.1. Importància	447
18.3.1.2. Evidència científica.....	447
18.3.1.3. Projeccions.....	448
18.3.2. Ozó troposfèric	448
18.3.2.1. Importància	448
18.3.2.2. Evidència científica.....	448
18.3.2.3. Projeccions.....	449
18.3.3. Incendis forestals	449
18.3.3.1. Importància	449
18.3.3.2. Evidència científica.....	450
18.3.3.3. Projeccions.....	450
18.3.4. Intrusions de pols del Sàhara	450
18.3.4.1. Importància	450
18.3.4.2. Evidència científica.....	450
18.3.4.3. Projeccions.....	451

18.3.5. Pol·len.....	451
18.3.5.1. Importància	451
18.3.5.2. Evidència científica.....	451
18.3.5.3. Projeccions.....	451
18.4. Malalties transmeses per vectors.....	452
18.4.1. Importància.....	452
18.4.2. Evidència científica.....	453
18.4.3. Projeccions	453
18.5. Altres possibles efectes del canvi climàtic en la salut.....	454
18.6. Vulnerabilitats	454
18.6.1. Gent gran	454
18.6.2. Nadons.....	455
18.6.3. Gestants	455
18.6.4. Malalts mentals.....	455
18.6.5. Nivell socioeconòmic	456
18.6.6. Ocupacions de risc.....	456
18.7. Estratègia d'adaptació: el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut.....	456
18.8. Estratègies de mitigació amb cobeneficis per a la salut	458
18.8.1. Espais verds	458
18.8.2. Transport actiu.....	459
18.9. Conclusions	459
18.10. Recomanacions	460
Referències bibliogràfiques.....	461

Síntesi

L'objectiu d'aquest capítol és descriure els principals impactes en la salut del canvi climàtic a Catalunya. Per això, es basa en la revisió de l'evidència científica recent centrada en Catalunya i ofereix, també, projeccions sobre els efectes esperats en la salut de les condicions climàtiques pronosticades per als propers decennis.

Un dels efectes en la salut estudiat més àmpliament són les onades de calor, que provoquen augments del nombre de defuncions i hospitalitzacions de més d'un 20 %, majorment en les persones grans i les que pateixen patologies cròniques prèvies. Els resultats presentats en aquest capítol determinen que el nombre de morts a causa de la calor a Catalunya es pot multiplicar per vuit el 2050, de manera que es produirien més de 2.500 defuncions anuals durant els mesos d'estiu.

La contaminació atmosfèrica és un dels problemes que s'agreuja amb determinades condicions climàtiques, especialment amb episodis d'altres temperatures, i que causa nombrosos problemes respiratoris i cardiovasculars a la població. A Catalunya, s'estima que anualment hi ha 3.500 defuncions prematures per afectacions provocades per la contaminació de l'aire.

El canvi climàtic també pot tenir un impacte en la incidència de les malalties transmeses per vectors. Els canvis en la temperatura i les precipitacions afavoreixen l'aparició de mosquits, els transmissors principals d'aquest tipus de malaltia. En el cas de Catalunya, s'estima que el risc potencial de malalties com ara el dengue, la malària o el chikungunya augmenti.

Però el canvi climàtic pot afectar la salut de la població per altres mecanismes. Aquest capítol descriu els riscos de les onades de fred i l'exposició al fum dels incendis forestals, que s'han relacionat amb increments del nombre d'hospitalitzacions i defuncions, especialment per problemes cardiopulmonars. A més, s'hi inclouen, breument, altres factors que poden intervenir en la relació entre el canvi climàtic i la salut, però que impliquen un risc més petit per a Catalunya (com ara les malalties transmeses per l'aigua) i que presenten diverses incerteses sobre com poden afectar Catalunya en el futur (com ara el cas de la radiació ultraviolada).

De les mesures d'adaptació de l'escalfament global, aquest capítol descriu el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut. A més, s'analitzen dues mesures de mitigació que tenen beneficis abundants per a la salut: la presència d'espais verds, especialment a les zones urbanes, i el foment del transport actiu.

En conclusió, la salut és un tema d'una gran rellevància pel que fa als efectes del canvi climàtic, i aquest capítol destaca com a mesures, entre d'altres, la necessitat de fomentar estils de vida saludables per mitjà de polítiques que promoguin l'ús del transport actiu, el manteniment dels plans de prevenció dels efectes de les onades de calor, la millora de l'eficiència energètica dels edificis i la implantació de polítiques que permetin reduir les desigualtats socials i econòmiques.

Paraules clau

onades de calor, malalties vectorials, contaminació atmosfèrica, adaptació, vulnerabilitat, mitigació

18.1. Introducció

El canvi climàtic pot afectar la salut de la població de diverses maneres i és difícil sintetitzar tots els efectes possibles. A escala mundial, el canvi climàtic és considerat l'amenaça més gran per a la salut global d'aquest segle. Aquest capítol, però, se centra en els aspectes que poden ser més rellevants per a Catalunya i per als quals es disposa d'evidència científica, preferentment d'estudis recents i que s'han centrat en Catalunya. Per a cadascun dels temes plantejats se n'exposa la importància, es descriu l'evidència científica i, quan sigui possible, es discuteix què pot passar en el futur.

Els efectes directes de la temperatura són els més fàcils d'estudiar. Per exemple, hi ha una àmplia evidència científica sobre els efectes de les onades de calor en la salut, també a Catalunya, i utilitzant els models climàtics existents es poden fer projeccions raonables sobre els efectes futurs. Per això, es dedica una part important d'aquest capítol a aquest tema.

Hi ha altres efectes indirectes del canvi climàtic que poden tenir una certa rellevància a Catalunya. Per exemple, els canvis en la temperatura i la precipitació incidiran en factors rellevants per a la salut, com ara els nivells de contaminació atmosfèrica. Aquest capítol també cobreix aquests aspectes, ja que l'evidència actual de la relació amb la salut és àmplia i sòlida, i es disposa d'estudis realitzats a Catalunya. A més, se sap que un increment de les temperatures afavorirà la formació de contaminants perjudicials per a la salut, com ara l'ozó troposfèric.

Un altre problema de salut relacionat amb el canvi climàtic són les malalties transmeses per vectors. En aquest cas, se sap que els canvis en la temperatura i la precipitació a Catalunya afavoriran l'augment de la població de mosquits capaços de transmetre malalties com ara la malària, el dengue o el chikungunya. En aquest capítol es repassa la situació actual i les mesures preventives que estan en vigor, ja que són les que, juntament amb altres comportaments humans, acabaran determinant la incidència futura d'aquestes malalties al nostre territori.

Existeixen altres relacions entre el canvi climàtic i la salut que es descriuen en aquest capítol, com ara els episodis derivats d'incendis forestals, de pols

del Sàhara o del pol·len. Se n'hi han inclòs d'altres d'una manera més abreujada perquè no comporten un risc tan gran per a Catalunya (com ara les malalties transmeses per l'aigua i pels aliments) i perquè les projeccions presenten força incertesa sobre els efectes a Catalunya (com, per exemple, la radiació ultraviolada). Finalment, no es consideren fenòmens difícils de predir que poden tenir conseqüències de molta més magnitud que els descrits en aquest capítol, com ara els efectes de grans sequeres a escala mundial en la disponibilitat d'aliments o els efectes de conflictes armats o migracions massives causats per pressions climàtiques, entre d'altres.

A més de descriure els riscos per a la salut, aquest capítol també descriu quines són les poblacions més vulnerables i quines mesures d'adaptació i mitigació es duen a terme o es poden implementar per a obtenir beneficis per a la salut.

18.2. Fenòmens extrems

Una de les principals conseqüències del canvi climàtic és l'increment dels fenòmens meteorològics extrems, com ara la calor, les sequeres o les pluges intenses. En aquest apartat s'analitzen les condicions meteorològiques extremes pronosticades per al sud-oest d'Europa que poden tenir un impacte directe en la salut de la població. Són, principalment, les onades de calor i de fred.

18.2.1. Onades de calor

18.2.1.1. Importància

L'exposició a temperatures extremament elevades té un impacte directe en la salut de la població. La temperatura corporal dels humans s'ha de mantenir estable al voltant dels 37 °C; per tant, quan la temperatura ambient augmenta, el sistema termoregulador s'activa i provoca canvis com ara un augment de la pressió arterial, la freqüència cardíaca, el nombre de plaquetes i la viscositat de la sang. Aquests canvis eviten que la temperatura corporal augmenti, però en poblacions vulnerables poden provocar efectes perjudicials per a la salut i, en casos extrems, infarts.

Nombrosos estudis han assenyalat una relació no lineal en forma de V o U entre la temperatura i la mortalitat, en què les defuncions són més nombroses durant els episodis amb temperatures extremes (Basu, 2009). La figura 18.1 mostra la

relació entre la temperatura mitjana diària i el risc de mortalitat per a les quatre capitals de província de Catalunya. S'observa clarament l'increment de la mortalitat quan es produeixen temperatures molt altes o molt baixes.

La causa de mort relacionada més directament amb la calor és el cop de calor, una condició molt greu que es manifesta amb una hipertèrmia molt elevada. És important assenyalar que la major part de la mortalitat associada a la calor no es deu a cops de calor, dels quals es donen molt pocs casos l'any, sinó que es deu a altres causes en què la calor n'és el factor desencadenant.

Existeixen diversos factors que incrementen el risc de patir els efectes de la calor, com ara la intensitat i la durada (D'Ippoliti *et al.*, 2010). A més, alguns

grups de població en són més vulnerables (vegeu l'apartat 18.5). També hi ha zones més afectades, com ara les grans ciutats, on es produeix l'anomenat *efecte illa de calor urbana*. Aquestes zones són àrees metropolitanes amb una temperatura molt més elevada que les àrees rurals que les envolten, com és el cas de Barcelona. Les raons d'aquestes altes temperatures són diverses: l'elevada densitat de població; la gran concentració de contaminació atmosfèrica provocada pels vehicles (i altres mitjans de transport) i les diferents activitats industrials; el paviment d'asfalt que impermeabilitza el sòl, i la proximitat entre els edificis, que no permet alliberar la calor. Tots aquests factors, units a la manca d'espais verds i blaus per a l'oxigenació, provoquen increments de temperatura per mitjà dels quals els efectes en la salut s'agreugen. En aquestes zones també són freqüents les nits tro-

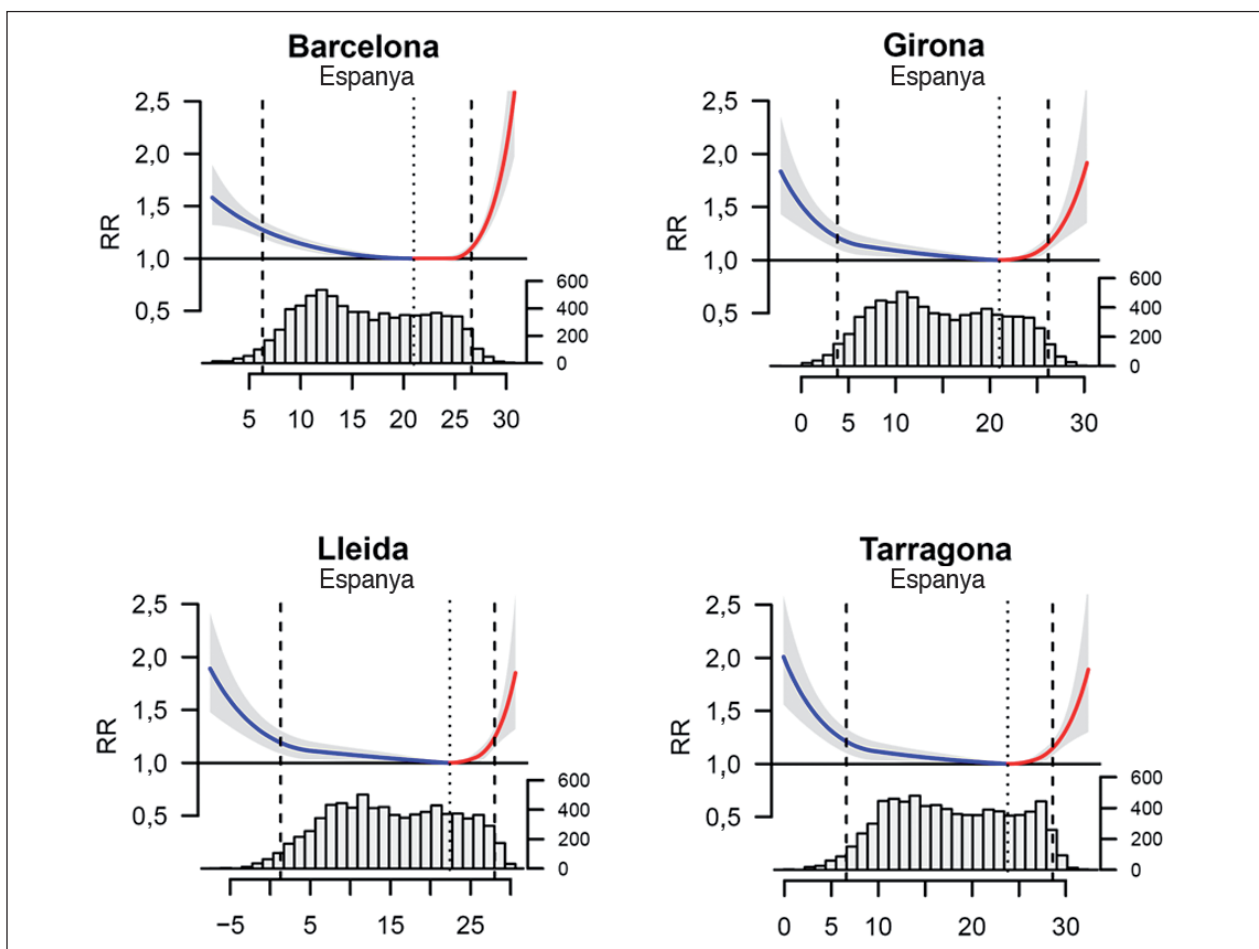


FIGURA 18.1. Relació entre la mortalitat i la temperatura mitjana diària a les ciutats de Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona (període 1990-2010). Els gràfics mostren l'increment del risc de mortalitat prenent com a referència la temperatura de mínima mortalitat de cada ciutat. Les corbes reflecteixen el risc relatiu de mortalitat (RR) acumulat fins a vint-i-un dies després que es produeixi una temperatura determinada i s'han elaborat ajustant els canvis demogràfics i estacionals. La temperatura de mínima mortalitat i els percentils 2,5 i 97,5 s'afegeixen com a línies de punts i traces, respectivament.

Font: Figura adaptada de l'article de Gasparrini *et al.*, 2015.

picals (les que tenen temperatures mínimes superiors als 20 °C), ja que la calor que s'acumula durant el dia és alliberada durant la nit.

18.2.1.2. Evidència científica

L'estiu del 2003, Europa va viure un dels pitjors episodis de calor dels últims decennis. A Catalunya es van registrar temperatures màximes rècord que, en alguns punts, van arribar als 35 °C, també caracteritzades per la llarga durada. Alguns estudis han estimat en més de 1.800 persones l'excés de mortalitat causat per aquesta onada de calor a Catalunya (Simón *et al.*, 2005). Més recentment, un estudi revela que durant el període 1983-2006, un 1,6 % de la mortalitat durant els mesos d'estiu a Catalunya és atribuïble a les altes temperatures (més de 300 defuncions anuals), i que prop del 40 % d'aquestes morts es produeixen en episo-

dis aïllats de calor, és a dir, en dies que no estan classificats pròpiament com a períodes d'onada de calor (Basagaña *et al.*, 2011).

El risc de mortalitat durant tres dies consecutius d'intensa calor varia en funció de les diferents zones climàtiques de Catalunya (figura 18.2). Mentre que el Pirineu occidental i la zona del Prelitoral central són les àrees que presenten més risc de mortalitat (amb increments del 29 al 34 %), a les comarques de Girona, a la zona del Prelitoral sud i a algunes comarques de la Catalunya central el risc de defunció és més petit (amb increments del 10 al 19 %).

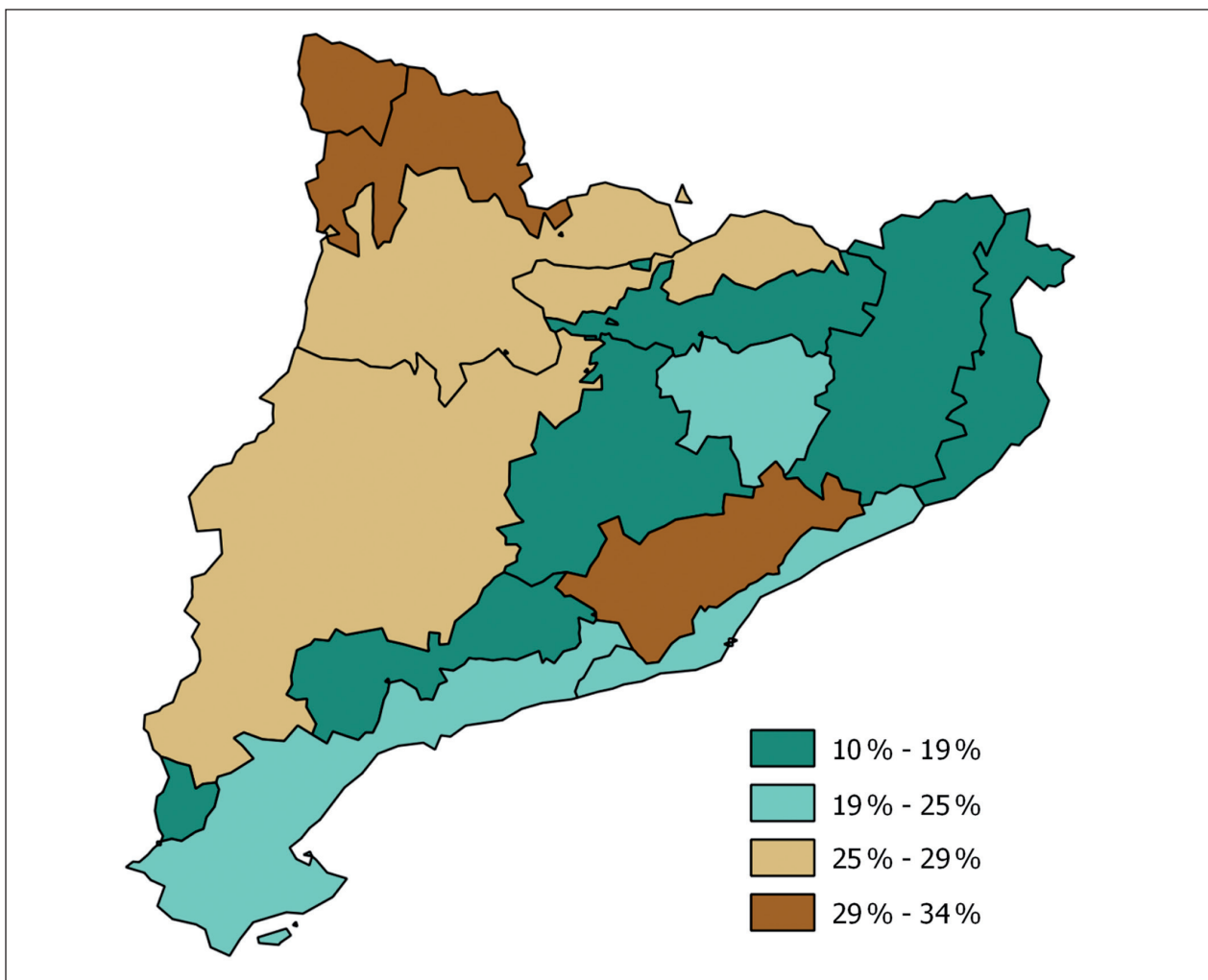


FIGURA 18.2. Increment del risc de la mortalitat relacionada amb la calor després de tres dies consecutius d'altres temperatures a les diferents zones climàtiques de Catalunya durant el període 1983-2006.

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'article de Basagaña *et al.*, 2011.

ciutats mediterrànies on la mortalitat s'incrementa més en dies de calor extrema (un 27 % respecte al 10 i 15 % d'increment de risc de mortalitat d'altres capitals mediterrànies; Tobías *et al.*, 2014). Aquest risc, però, és comparable al d'altres grans ciutats espanyoles com ara Madrid o Sevilla.

Les causes principals de mortalitat associades a les altes temperatures a Catalunya es relacionen amb les malalties cardiovasculars, les malalties respiratòries, les malalties del sistema nerviós i mental, la diabetis i les malalties del sistema urinari i del ronyó (Basagaña *et al.*, 2011). Com mostra la figura 18.3, les causes de mort que experimenten un creixement més elevat en períodes de tres dies consecutius de calor extrema són les relacionades amb els problemes mentals i del sistema nerviós, en les quals s'observa un increment del risc de mortalitat del 30 %.

18.2.1.3. Projeccions

Com a part d'aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA, s'ha realitzat un estudi amb l'objectiu d'estimar el nombre esperat de morts relacionades amb la calor a Catalunya per als anys 2025 i 2050. Aquest treball s'ha plantejat a partir de les temperatures mitjanes projectades a les quatre capitals de província (Barcelona, Girona,

Lleida i Tarragona) per als nous escenaris d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle que ha presentat el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) en el darrer informe (AR5). Concretament, s'han considerat l'escenari RCP4.5, caracteritzat per una tendència futura estable d'emissions, i l'escenari RCP8.5, que preveu que les emissions continuïn creixent al llarg del segle XXI. D'altra banda, i amb l'objectiu de recollir els canvis esperats en la població catalana, s'ha treballat amb les projeccions de població de l'Institut d'Estadística de Catalunya per als anys 2025 i 2050, segons tres escenaris de creixement (en funció del flux migratori, la mortalitat i la taxa de fecunditat).

En el període de referència utilitzat, 1971-2000, s'observa una mitjana anual de 310 morts atribuïbles a la calor a tot Catalunya (taula 18.1). Considerant l'escenari moderat d'emissions per al segle XXI (RCP4.5) i tenint en compte, únicament, l'increment de la temperatura mitjana, s'estima que el 2025 es duplicaran els casos (610) i que el 2050 arribaran a 718. En incorporar-hi els canvis previstos en la població i l'estructura en termes d'envelliment, el nombre esperat de morts atribuïbles a la calor a Catalunya el 2025 augmenta fins a 1.391, i el 2050 se n'esperen 2.504, que multipliquen per vuit els

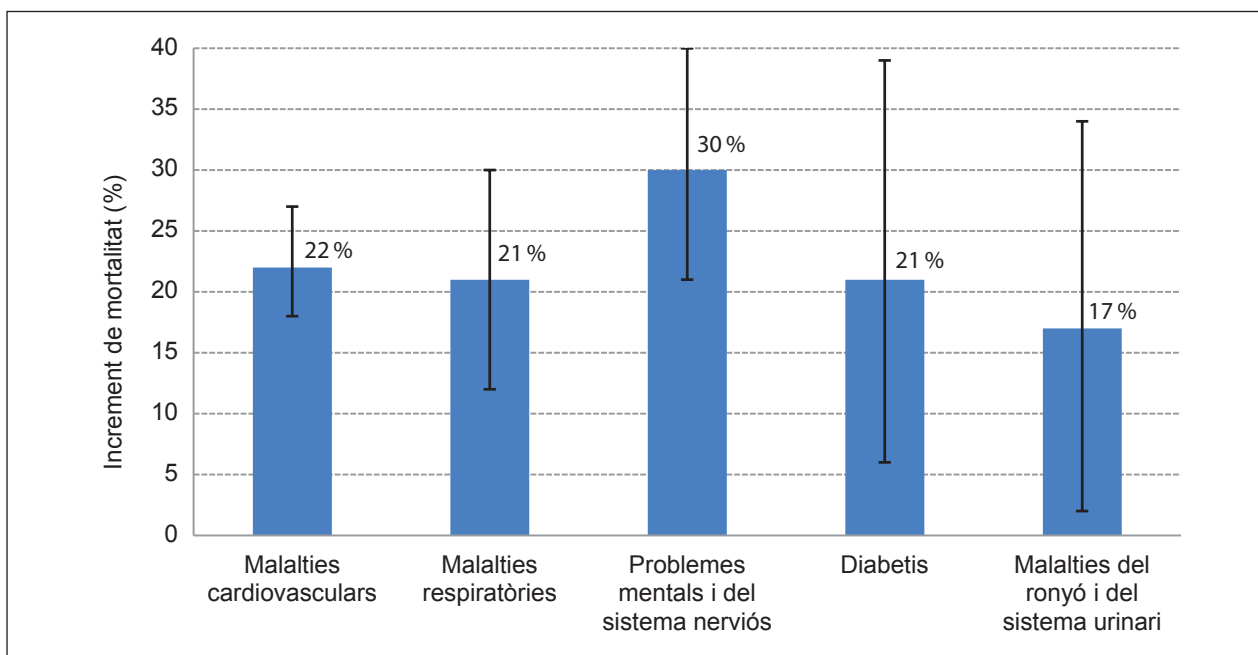


FIGURA 18.3. Increment del risc de mortalitat (i interval de confiança al 95 %) en períodes d'onada de calor segons la causa de defunció a Catalunya (1983-2006).

Font: Gràfic adaptat de l'article de Basagaña *et al.*, 2011.

casos del període basal. Les projeccions basades en l'escenari RCP8.5 augmenten els casos esperats en 200 casos addicionals l'any 2050.

Aquests resultats posen de manifest l'impacte del futur augment generalitzat de les temperatures en la salut pública a Catalunya. Cal, doncs, establir mecanismes per a garantir una possible aclimatació de la població a les altes temperatures. L'aclimatació es pot aconseguir per mitjà de l'augment de l'ús d'aire condicionat a les cases (amb possibles efectes negatius per al canvi climàtic, ja que comporta un augment de les emissions), la millora de la construcció dels habitatges i de la planificació urbanística (zones verdes, reducció del trànsit, etc.) i la possible alteració dels patrons de comportament humà davant de les onades de calor. És important destacar que les projeccions d'aquest capítol no tenen en compte cap possible adaptació. Altres estudis que han incorporat l'efecte d'una possible adaptació conclouen que les previsions poden ser d'un 20 a un 40 % més baixes respecte als estudis que no incorporen adaptació (Huang *et al.*, 2011). Malgrat aquesta reducció de l'efecte, tots els estudis continuen detectant augments en el nombre de morts atribuïbles a la calor en el futur.

18.2.2. Onades de fred

18.2.2.1. Importància

Malgrat l'augment previst de les temperatures en els propers decennis (vegeu el capítol 5), les onades de fred, que també tenen efectes perjudicials

per a la salut, persistiran (Marmot Review Team, 2011). Una possible aclimatació a les temperatures més altes també pot augmentar l'impacte d'episodis puntuals de baixes temperatures en la salut. Els principals problemes relacionats amb l'exposició a temperatures extremament baixes són els increments de la mortalitat i les hospitalitzacions, principalment per problemes respiratoris.

18.2.2.2. Evidència científica

L'hivern registra un excés de mortalitat arreu d'Europa, quantificat en uns dos milions de defuncions extres entre el 2002 i el 2011. Espanya se situa entre els països europeus amb més excés de mortalitat hivernal, amb valors comparables amb altres països del sud d'Europa (Marmot Review Team, 2011). Un estudi europeu que inclou dades de Barcelona ha quantificat que la disminució d'1 °C en la temperatura mínima aparent a l'hivern (que té en compte, també, la humitat) s'associa a un increment significatiu de l'1,35 % de defuncions diàries, i que es produeixen increments de l'1,72 %, el 3,30 % i l'1,25 % en les morts per problemes cardiovasculars, respiratoris i cerebrovasculars, respectivament (Analitis *et al.*, 2008). Els resultats d'aquests estudis mostren que les ciutats amb un clima més càlid i temperat pateixen efectes més greus en la salut durant els episodis de temperatures fredes, la qual cosa és deguda, possiblement, a una pitjor adaptació, tant fisiològica com, sobretot, per factors socials, econòmics i culturals. A Catalunya, actualment no existeix un pla específic per a prevenir els efectes del fred en la salut, a diferència de les altes temperatures, per a les quals

TAULA 8.1. Estimació de la mortalitat atribuïble a la calor (i interval de confiança al 95 %) a Catalunya per als anys 2025 i 2050

Model		Escenari RCP4.5	Escenari RCP8.5
Basal	Període 1971-2000	310 (76, 668)	
2025	Augment de la temperatura	610 (291, 1.040)	639 (318, 1.058)
	Augment de la temperatura i envelliment de la població	1.391 (670, 2.395)	1.459 (721, 2.435)
2050	Augment de la temperatura	718 (368, 1.218)	784 (408, 1.260)
	Augment de la temperatura i envelliment de la població	2.504 (1.238, 4.394)	2.733 (1.352, 4.460)

El nombre de defuncions atribuïbles a la calor s'ha calculat considerant sis models climàtics de projecció de temperatures mitjanes a les ciutats de Barcelona, Girona, Lleida i Tarragona, per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5 (del projecte CMIP5, de l'Agència Estatal de Meteorologia). Les dades històriques i de projeccions de la població de Catalunya i les taxes anuals de mortalitat s'han obtingut de l'Institut d'Estadística de Catalunya.

Font: Elaboració pròpia.

es disposa d'un seguit de recomanacions (vegeu apartat 18.7).

La temperatura de l'interior de les cases té un paper destacat en els efectes en la salut, i al sud d'Europa les llars tenen més problemes d'aïllament. La pobresa energètica, en conseqüència, també és un factor important que repercuteix en la salut de la població. Un estudi realitzat al Regne Unit ha estimat que el 21,5 % de l'excés de mortalitat que es produeix a l'hivern es podria evitar si el 25 % de les llars més fredes tinguessin temperatures interiors igual d'altas que el 25 % de les llars més calentes (Marmot Review Team, 2011).

18.2.2.3. Projeccions

Actualment, la mortalitat associada a la temperatura a Europa és dominada pels efectes del fred. Així, l'augment de les temperatures podria reduir el còmput global de la mortalitat associada a la temperatura, tot i que alguns experts qüestionen que es redueixi l'excés de mortalitat a l'hivern. Fins i tot si es comptabilitza una reducció de la mortalitat a l'hivern, aquesta reducció seria superada per l'augment de la mortalitat a l'estiu a final de segle, segons un estudi (Ballester *et al.*, 2011).

18.3. Contaminació de l'aire

Clima, contaminació i salut van lligats d'una manera complexa. Per exemple, els diferents tipus de partícules i gasos interactuen a l'atmosfera per formar nous compostos, sovint influenciats per la temperatura i la radiació ultraviolada. Molts d'aquests compostos tenen efectes nocius per a la salut i, segons el compost, poden contribuir a l'escalfament o al refredament de l'atmosfera. També les onades de calor, amb els efectes en la salut ja esmentats a l'apartat 18.2.1, solen coincidir amb fenòmens d'estancament de l'aire, que concentren els contaminants a prop de la superfície i, a més, afavoreixen la producció d'ozó troposfèric.

Els efectes nocius en la salut de l'exposició a la contaminació atmosfèrica són àmpliament coneguts. A l'àrea metropolitana de Barcelona, s'estima que anualment es produeixen unes 3.500 morts prematures causades per afectacions derivades de la contaminació de l'aire (Künzli, 2007). A més, segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS) i l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolu-

pament Econòmic (OCDE), s'ha estimat que els costos procedents de la contaminació atmosfèrica referents a la salut representen, a l'Estat espanyol, un 2,8 % del producte interior brut (WHO Regional Office for Europe, 2015).

18.3.1. Partícules en suspensió

18.3.1.1. Importància

Les partícules en suspensió (PM) són una barreja de diversos components (àcids, químics, metalls, etc.) i poden contenir una gran varietat de microorganismes com ara virus o bacteris. L'exposició a aquestes partícules (que, per la mida, són respirables) provoca nombrosos problemes de salut a la població. En funció de la mida, existeixen diferents tipus de PM: de diàmetre inferior a 10 µm (PM₁₀), que poden arribar al coll de les persones; de diàmetre inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}), que poden arribar als pulmons, i les partícules ultrafines, amb un diàmetre inferior a 0,1 µm (PM_{0,1}) i que poden passar de l'alvèol pulmonar a la sang. La font principal d'emissió de PM són les zones urbanes, on es concentra una gran combustió de motors provocada pel trànsit, però també hi ha altres activitats emissores d'aquestes partícules, com ara la indústria o la construcció. Com es tracta a l'apartat 18.3.4, la intrusió de la pols del desert del Sàhara per mitjà del vent fa incrementar, també, els nivells de PM.

Les malalties respiratòries i cardiovasculars esdevenen els principals efectes en la salut de l'exposició a aquestes partícules. Per aquest motiu, l'Agència Europea de Medi Ambient estableix els límits que asseguren la qualitat de l'aire que es respira.

18.3.1.2. Evidència científica

Alguns estudis avaluen la concentració de PM a diverses ciutats mediterrànies, entre les quals Barcelona, ja que es caracteritzen perquè tenen una gran densitat de població, de vehicles (especialment vehicles de motor dièsel) i de trànsit marítim, i unes característiques climàtiques adequades per a concentrar grans nivells d'aquestes partícules (com ara la intensa radiació solar, la poca precipitació i l'estancament de l'aire). Barcelona, amb una mitjana anual de més de 35 µg/m³, és una de les ciutats que mostra una concentració més elevada de

PM₁₀. Aquest valor compleix l'estàndard de la Unió Europea (40 µg/m³), però duplica els nivells recomanats per l'OMS en matèria de salut (20 µg/m³). Els resultats també posen de manifest els efectes nocius de l'exposició a partícules, que incrementen la mortalitat i el nombre d'hospitalitzacions d'un 1 a un 2 %, especialment per malalties respiratòries i cardiovasculars (Basagaña *et al.*, 2015). De totes les fonts emissores de partícules a Barcelona, el trànsit és la que provoca efectes més negatius en la salut (Ostro *et al.*, 2011). D'altra banda, l'àrea metropolitana de Barcelona es caracteritza per haver superat, repetidament, el valor estàndard de la Unió Europea.

Catalunya disposa de diverses eines per a conèixer i controlar la qualitat de l'aire del territori, i complir, així, amb la normativa europea. La Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica és un dels mecanismes de què es disposa per a controlar els nivells dels principals contaminants atmosfèrics. A més, el Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire vetlla per protegir la qualitat de l'aire dels quaranta municipis que configuren l'àrea de Barcelona, on viuen uns 4,6 milions de persones. Aquest pla té com a objectiu principal garantir que es compleixin les directives europees en matèria de qualitat de l'aire (PM₁₀ i NO₂) tot fixant mesures per a reduir d'una manera general la contaminació i actuacions especials per als dies en què se superen els nivells recomanats.

18.3.1.3. Projeccions

Es fa difícil preveure de quina manera el canvi climàtic incidirà en els nivells de contaminació i quins efectes tindrà en la salut. Així, malgrat que un estudi ha observat una disminució dels nivells de partícules en suspensió a Barcelona en els últims anys (Pandolfi *et al.*, 2014) i, per tant, es podria suposar una disminució dels efectes en la salut, un altre estudi mostra que els efectes de les partícules procedents directament del trànsit s'han mantingut constants i han provocat increments en el nombre de defuncions per malalties cardiovasculars (Ostro *et al.*, 2015). D'altra banda, l'evolució dels nivells de partícules i d'altres contaminants, com ara el NO₂ i el CO, està molt relacionada amb les polítiques per a reduir les emissions dels vehicles de motor, incloent-hi la limitació del trànsit rodat a les ciutats i la possible irrupció del cotxe elèctric. Alguns

estudis han projectat increments en la mortalitat causats per la concentració de partícules a escala global i en grans zones (com ara els Estats Units i l'Àsia oriental). No obstant això, aquestes projeccions presenten certes incerteses per la dificultat de preveure l'evolució d'aquests contaminants (Madañyazi *et al.*, 2015). Amb tot, cal suposar que, amb el canvi climàtic, la qualitat empitjorarà, per la qual cosa el Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire s'ha de reforçar.

18.3.2. Ozó troposfèric

18.3.2.1. Importància

L'ozó troposfèric (l'ozó més proper a la superfície terrestre) és un contaminant molt present durant l'estiu i en els episodis anticiclònics, ja que es forma a partir de la combinació de la llum solar amb els òxids de nitrogen i els compostos orgànics volàtils, els seus precursors. Tot i que aquests precursors es generen a les zones urbanes, les concentracions d'ozó són, en general, baixes a les grans ciutats i, en canvi, poden assolir concentracions elevades en regions ubicades a sotavent dels grans nuclis de població. A Catalunya, les zones més afectades són el Camp de Tarragona, la plana de Vic, el Pirineu oriental i les comarques de Girona (figura 18.4).

L'ozó troposfèric comporta un perill per a la salut quan les concentracions són superiors a les habituals. Els efectes en la salut són múltiples: des d'increments en el nombre d'hospitalitzacions i de defuncions per malalties respiratòries fins a dificultats en el desenvolupament cognitiu, agreujament de problemes respiratoris, disminució del rendiment o símptomes de malestar general (Generalitat de Catalunya, 2014).

18.3.2.2. Evidència científica

Alguns estudis han quantificat augments en la mortalitat i en les hospitalitzacions per problemes respiratoris a Europa a causa de l'augment dels nivells d'ozó troposfèric atribuïbles al canvi climàtic en els darrers vint anys (Orru *et al.*, 2013). En el cas d'Espanya, en el període 1990-2009 s'han registrat prop de 2.975 morts prematures anuals a causa de l'increment dels nivells d'ozó i 3.587 hospitalitzacions per problemes respiratoris (Orru *et al.*, 2013). A més, un projecte europeu ha determinat efectes adversos per a la salut en la

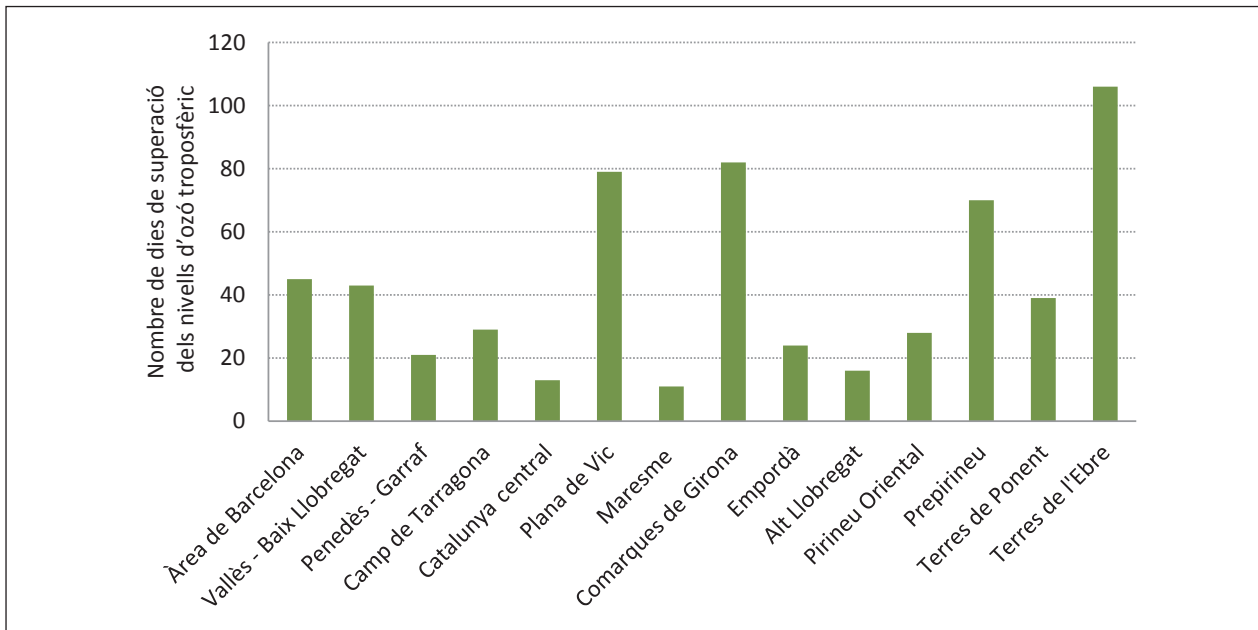


FIGURA 18.4. Zones de qualitat de l'aire de Catalunya i nombre de dies en què s'han superat els nivells d'ozó troposfèric per a la protecció de la salut humana durant el 2014. El gràfic mostra els dies en què la mitjana de vuit hores mòbil ha superat el valor de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de l'any 2010, s'ha de complir el valor objectiu per a la protecció de la salut humana (que permet fins a vint-i-cinc dies amb superació d'aquest valor en la mitjana dels tres darrers anys). L'objectiu a llarg termini per a la protecció de la salut humana consisteix a no superar aquest valor en cap ocasió (Reial decret 102/2011, del 28 de gener, relatiu a la millora de la qualitat de l'aire).

Font: Resum de la campanya de vigilància dels nivells d'ozó troposfèric de l'any 2014, del Servei de Vigilància i Control de l'Aire del Departament de Territori i Sostenibilitat.

concentració d'ozó troposfèric durant els mesos d'estiu que persisteixen durant més d'una setmana. Concretament, un increment de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el nivell d'ozó s'ha associat a un increment del 0,36 % en el nombre de defuncions per malalties respiratòries durant el mateix dia, i del 3,35 % en els vint dies posteriors a l'episodi (Samoli *et al.*, 2009). D'altra banda, un estudi ha analitzat el rol de l'ozó troposfèric en la mortalitat durant episodis d'onades de calor a diferents ciutats europees (entre les quals Barcelona). Els resultats mostren que, en la gent gran (de setanta-cinc a vuitanta-quatre anys), la mortalitat diària total i per problemes cardiovasculars s'incrementa un 54 % els dies que els nivells d'ozó són elevats en comparació amb els dies que l'ozó presenta nivells baixos (Analitis *et al.*, 2014). Aquest increment és més acusat a les ciutats mediterrànies.

18.3.2.3. Projeccions

Mentre que hi ha un consens general sobre les projeccions d'increment generalitzat de la temperatura, existeix una certa incertesa en els canvis previstos en altres condicions climàtiques, com ara les precipitacions i la cobertura de núvols, que afecten la for-

mació d'aquest tipus d'ozó. Malgrat tot, alguns estudis han estimat l'evolució de l'ozó troposfèric per als propers trenta anys. Els resultats mostren un increment d'aquest tipus d'ozó més acusat en països com ara Espanya, Portugal, França i Bèlgica, mentre que s'esperen descensos als països nòrdics. Concretament, a Espanya s'espera un increment dels nivells d'ozó per a l'any 2050 i un augment conseqüent de la mortalitat prematura a causa de l'ozó d'un 15 %, el mateix percentatge d'augment esperat del nombre d'hospitalitzacions per causes respiratòries. Els diferents models utilitzats per a preveure l'evolució i els efectes de l'ozó mostren algunes variacions en determinades àrees d'Espanya, sent la costa mediterrània de Catalunya la que presentaria més efectes en la salut (Orru *et al.*, 2013).

18.3.3. Incendis forestals

18.3.3.1. Importància

Tal com descriu el capítol 6, amb el canvi climàtic i l'augment de les temperatures s'incrementa el risc d'incendis forestals, els quals també tenen conseqüències per a la salut. Segons l'IPCC, durant un incendi la concentració de PM pot arribar a

duplicar els límits recomanats per l'OMS. L'exposició a les emissions dels incendis forestals implica grans nivells de contaminants relacionats amb la combustió i, en general, temperatures ambientals elevades. Un estudi realitzat a Moscou revela un excés de mortalitat d'onze mil persones durant un període d'onada de calor amb la interacció de nivells alts de contaminació (PM_{10}) procedents dels incendis forestals (Shaposhnikov *et al.*, 2014). Els múltiples factors que poden influir en l'ocurrència d'incendis forestals (precipitacions, vents, etc.) fa difícil l'avaluació de l'exposició humana. L'increment de la mortalitat, sobretot per causes respiratòries i cardiovasculars, és la principal conseqüència per a la salut de l'exposició a aquest fenomen, però també ho són els problemes respiratoris i els increments d'hospitalitzacions.

18.3.3.2. Evidència científica

Recentment, s'ha quantificat que els dies en què les ciutats mediterrànies són afectades pel fum d'incendis l'efecte de la contaminació en la mortalitat és superior a l'habitual (Faustini *et al.*, 2015). Concretament, aquest estudi (en el qual van participar ciutats com ara Barcelona, Madrid o Roma) identifica que els dies amb més concentració de fum d'incendis el risc de mortalitat s'incrementa un 1,8 %, i l'increment és de més del 6 % en la mortalitat provocada per problemes cardiovasculars. Els resultats també mostren un augment de la temperatura de fins a 1,7 °C durant els dies amb fum dels incendis, sent més elevada en episodis amb focs de llarga durada.

Altres estudis també han documentat augments en el nombre d'hospitalitzacions per problemes cardiopulmonars (majorment asma, bronquitis i pneumònia) durant el període d'incendi, d'una manera més acusada en les persones grans i els infants (Youssef *et al.*, 2014). El consum de fàrmacs ansiolítics (relacionats amb trastorns mentals, com ara la depressió i els episodis d'estrès) i de medicaments per a malalties obstructives de les vies respiratòries també augmenta durant els mesos posteriors a un incendi. En el cas d'Espanya, un estudi realitzat a Galícia va detectar un augment del 10 % en el consum de fàrmacs els dies posteriors a un incendi (Caamaño Isorna *et al.*, 2011). A més a més, els incendis habitualment es produeixen durant episodis d'intensa calor, amb la qual

cosa la població està exposada, simultàniament, a dos factors de risc per a la salut: les temperatures molt altes i els nivells alts de contaminació.

18.3.3.3. Projeccions

Durant els darrers decennis, el nombre d'incendis forestals a Catalunya ha anat disminuint gràcies, en bona part, a les mesures preventives adoptades per la Generalitat de Catalunya, les campanyes de sensibilització i els protocols d'extinció dels incendis forestals (vegeu el capítol 6). No obstant això, el canvi climàtic pronosticat per als propers decennis a la zona de la Mediterrània fa preveure un augment de la inflamabilitat del combustible (la vegetació dels boscos) a causa de les sequeres. Tenint en compte que el risc per a la salut depèn directament de la freqüència i la magnitud dels incendis forestals, les projeccions d'incendis preveuen que el risc augmentarà, però si es mantenen les mesures de prevenció i extinció d'incendis, podrien disminuir i, per tant, els efectes en la salut es podrien minimitzar (vegeu el capítol 6).

18.3.4. Intrusions de pols del Sàhara

18.3.4.1. Importància

Els vents procedents del desert del Sàhara (nord de l'Àfrica) transporten grans quantitats de pols cap al sud d'Europa, especialment cap a la Mediterrània. Les zones afectades per aquesta pols presenten una gran concentració de PM que agreuja la qualitat de l'aire repetidament. La toxicitat de la pols del Sàhara s'agreuja quan es barreja amb altres fonts de contaminació d'origen antropogènic (com ara l'absorció de plaguicides, les emissions industrials i del trànsit, etc.). Els principals efectes en la salut són els increments en el nombre d'hospitalitzacions i defuncions, principalment per problemes respiratoris i cardiovasculars, malgrat que els resultats no han estat sempre concloents.

18.3.4.2. Evidència científica

Estudis realitzats a diverses ciutats europees han mostrat increments en el nombre d'hospitalitzacions (per problemes cardiovasculars i respiratoris) durant dies amb pols del Sàhara. Barcelona és una de les ciutats de l'oest d'Europa que presenta nivells més alts de PM, ja que té una gran quantitat

de trànsit de vehicles, està densament poblada i sovint es veu afectada per la pols del Sàhara (prop de quaranta-quatre dies l'any). Durant aquests dies, els nivells de PM_{10} i $PM_{2,5}$ augmenten $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i la temperatura mitjana s'incrementa $2,1^\circ\text{C}$, amb els problemes de salut consegüents (vegeu l'apartat 18.2.1; Stafoggia *et al.*, 2015). Un altre estudi dut a terme, també, a Barcelona ha conclòs que els efectes de l'exposició a curt termini a PM durant els dies amb pols del Sàhara s'associen a un increment de la mortalitat cardiovascular (amb un 3 % més de defuncions; Pérez *et al.*, 2012b). No obstant això, és important destacar que la intrusió de la pols del Sàhara a Barcelona incrementa l'efecte nociu de les PM_{10} d'origen antropogènic en la salut, cosa que provoca un augment de la mortalitat cardiovascular (Pérez *et al.*, 2012a). A més, s'ha quantificat que les PM_{10} de pols del desert produeixen un increment de la mortalitat comparable a les PM_{10} d'altres orígens (Stafoggia *et al.*, 2015). Aquest fet implica que, per a protegir la salut humana, els països afectats per episodis de pols del Sàhara necessiten fer esforços més importants en la reducció de la contaminació produïda per l'home, l'única de la qual es poden reduir els nivells.

18.3.4.3. *Projeccions*

Una de les conseqüències del canvi climàtic pronosticades per l'IPCC és l'acceleració de la desertització, especialment a les zones àrides i semi-àrides d'Europa. Aquest seria el cas d'Espanya, ja que presenta unes condicions ambientals favorables (amb una geomorfologia que afavoreix els processos d'erosió del sòl, l'increment de la temperatura i la disminució de les precipitacions). Segons l'IPCC, és en aquestes regions àrides que els episodis de pols del Sàhara tendiran a augmentar durant els propers decennis (IPCC, 2014).

18.3.5. *Pol·len*

18.3.5.1. *Importància*

Durant els últims decennis, el nombre de persones afectades per alguna al·lèrgia ha augmentat exponencialment a escala mundial. A Catalunya, entre el 20 i el 25 % de la població és afectada per algun tipus d'al·lèrgia (principalment, rinitis i rinoconjuntivitis al·lèrgica) segons l'*Estudi sobre l'evolució de les al·lèrgies a Catalunya* (Fundació

Alergo, 2015). La prevalença d'asma també ha augmentat, però els factors que la determinen continuen sent encara força desconeguts. Mentre que és evident que el pol·len causa reaguditzacions dels atacs d'asma i la rinitis al·lèrgica, es desconeix si l'augment del pol·len pot ser la causa de l'increment de l'asma.

18.3.5.2. *Evidència científica*

La prevalença de les malalties respiratòries de component al·lèrgic varia en funció d'algunes variables meteorològiques. En el cas de l'asma, per exemple, una investigació ha indicat més prevalença amb alts nivells d'humitat i pluja, mentre que la prevalença decreix amb més temps assolellat i temperatures més altes (Arnedo-Pena *et al.*, 2013). Existeix molt poca evidència científica dels efectes del pol·len en la salut a Catalunya. Els pocs estudis realitzats fins ara s'han centrat en altres regions d'Espanya, com ara Valladolid, on s'ha trobat que l'al·lèrgia al pol·len d'herba és més freqüent en les zones urbanes que en les rurals (Armentia *et al.*, 2002). Un altre estudi que abasta tot l'Estat espanyol, en el qual s'ha classificat el territori en diferents àrees climàtiques segons les característiques meteorològiques, ha determinat que la prevalença d'eczema atòpic en infants de sis a set anys és més alta a la zona atlàntica, mentre que a l'àrea mediterrània és un 4 % més baixa (Suárez-Varela *et al.*, 2008).

18.3.5.3. *Projeccions*

Segons els escenaris de canvi climàtic plantejats per l'IPCC en l'AR5, s'espera un augment de la intensitat i la freqüència de pluges fortes en els propers decennis, que provocaria un augment en el nombre i la gravetat dels atacs asmàtics, tant en adults com en infants. En el cas de la península Ibèrica, l'augment generalitzat de les temperatures per als propers decennis afavorirà l'aparició de canvis en la producció, la fenologia i la distribució geogràfica del pol·len. A més, tant les sequeres com els vents i les precipitacions poden influir en el moviment i la dispersió dels al·lèrgens de l'atmosfera i afavorir l'agreujament de les al·lèrgies (Cecchi *et al.*, 2010). L'augment de la temperatura pot afectar la distribució i allargar l'estació del pol·len de les plantes al·lèrgògenes (vegeu el capítol 9), i, per tant, pot fer variar les susceptibilitats a l'asma, la rinitis al·lèrgica, l'eczema atòpic, la conjuntivitis o

la dermatitis. De totes maneres, aquestes projeccions presenten una certa incertesa, per la qual cosa calen més estudis per a projectar, en el futur, els efectes del pol·len en la salut.

18.4. Malalties transmeses per vectors

18.4.1. Importància

Els vectors són organismes vius que poden transmetre malalties infeccioses directament a persones o d'animals a persones. Els mosquits són els vectors de malalties més coneguts i estudiats. Les malalties d'interès especial per a la salut pública a Catalunya són el dengue, la malària i el chikungunya. El dengue, que es transmet als humans mitjançant la picada d'un mosquit infectat, es caracteritza perquè les persones que el pateixen presenten febre i dolor intens a les articulacions i els músculs, i inflamació dels ganglis limfàtics. El chi-

kungunya és un virus que es transmet d'una manera similar al dengue i que provoca febre intensa i dolor molt intens a les articulacions. D'altra banda, la malària és la malaltia més letal, provocada per un paràsit i transmesa per la picada d'un mosquit, que es caracteritza per febres altes, dolors musculars, diarrea i tos.

La distribució i l'abundància de les malalties transmeses per vectors (MTV) són directament afectades per factors climàtics, ja que tant els patògens com els vectors són organismes ectotèrmics (de sang freda). Això implica que les taxes de desenvolupament, supervivència i reproducció augmenten amb la temperatura (vegeu el capítol 10). La taula 18.2 mostra diverses MTV, incloent-hi: 1) MTV que són endèmiques actualment a Catalunya, amb transmissió autòctona (és a dir, transmissió per vectors locals); 2) MTV per a les quals els vectors

TAULA 18.2. Malalties transmeses per vectors (MTV) que actualment es consideren endèmiques a Catalunya (categoria 1), que són una amenaça greu per a la salut de la població catalana (categoria 2) o que podrien significar un risc per a la salut en el futur (categoria 3)

MTV	Endèmic / importat	Vector
Categoria 1: Presència de la malaltia i del vector; transmissió local		
leishmaniosi	Endèmic	Tàvec
tifus murí	Endèmic	Puça
febre maculosa mediterrània	Endèmic	Paparra
malaltia de Lyme	Endèmic	Paparra
febre Q	Endèmic	Paparra ^a
virus del Nil occidental	Endèmic ^b	Mosquit
Categoria 2: Presència de la malaltia i del vector; transmissió no local		
dengue	Importat (viatgers, immigrants)	Mosquit
chikungunya	Importat (viatgers, immigrants)	Mosquit
malària	Importat (viatgers, immigrants)	Mosquit
Categoria 3: Presència de la malaltia o del vector; transmissió no local		
malaltia de Chagas	Importat (immigrants)	Absent (triatoma)
febre groga	Absent	Mosquit
encefalitis japonesa	Absent	Mosquit
febre de la vall del Rift	Absent	Mosquit
febre hemorràgica de Crimea-Congo	Absent	Paparra ^c

a. Però, en general, per inhalació de l'aire.

b. En el reservori animal.

c. Patògen detectat dins del vector, infecció més probable de reserva animal (a Espanya).

són abundants i de les quals s'han detectat casos en animals o viatgers a les zones endèmiques però no s'ha produït transmissió autòctona, i 3) MTV per a les quals només la malaltia o el vector han estat identificats a Catalunya. La segona categoria representa les que tenen un risc més alt de reintroducció.

18.4.2. Evidència científica

Durant els últims anys s'ha produït transmissió local d'aquestes malalties a algunes zones de la Mediterrània. A Espanya, es va observar un cas de malària el 2010, mentre que pel que fa a altres països destaquen els casos de malària a Itàlia (2011) i Grècia (2011 i 2012), de dengue a França (2010 i 2014) i de Nil occidental a molts països europeus com ara Itàlia i Grècia (des del 2010). Ocasionalment, la transmissió local pot provocar una epidèmia greu, com s'ha vist amb el chikungunya a Itàlia (2007), amb més de 300 afectats, i el dengue a Madeira (2013).

A Catalunya, el nombre de casos de dengue ha anat augmentant els darrers anys: mentre que el 2009 se'n confirmava solament un cas, el 2014 el *Butlletí Epidemiològic de Catalunya* tancava l'any amb 33 casos confirmats. En el cas de la malària, el nombre de casos confirmats a Catalunya ha experimentat un creixement del 58 % en sis anys, amb 155 casos nous durant el 2014. D'altra banda, des del 2010 i fins al 2013 es van detectar, a Catalunya, 8 casos de chikungunya, tots en persones que havien viatjat en zones on aquesta malaltia és endèmica. L'any 2014, però, el nombre de casos es va incrementar d'una manera alarmant, ja que la malaltia es va confirmar en 70 persones (totes elles havien viatjat a països on el virus és present). A diferència del dengue i la malària, el chikungunya no és una malaltia de declaració obligatòria, amb la qual cosa no es disposa de cap registre oficial.

Existeixen diverses polítiques de control i vigilància de MTV a Catalunya. Un exemple n'és el Protocol per a la Vigilància i el Control de les Arbovirosis Transmeses per Vectors, que ha elaborat l'Agència de Salut Pública de Catalunya l'any 2015. Aquest protocol se centra en el dengue, el chikungunya i el Nil occidental. A més, des del 2010 la Comissió Interinstitucional per a la Prevenció i Control del Mosquit Tigre a Catalunya vetlla per controlar

i actuar davant de les espècies de vectors. Tot i que els protocols inclouen escenaris d'epidèmia, en aquestes actuacions no es té experiència i seria necessària una anàlisi de la preparació en situacions d'emergència. La rapidesa amb la qual les institucions puguin actuar, des de la provisió de recursos addicionals per a detectar vectors fins a la sensibilització (informació i educació) de la població per a reduir la propagació d'aquestes malalties, serà clau per a mitigar els efectes del canvi climàtic en les malalties infeccioses.

18.4.3. Projeccions

Preveure amb exactitud l'impacte del canvi climàtic en les MTV és complicat perquè cal tenir en compte diversos factors: la no-linealitat dels sistemes, és a dir, que l'augment de la temperatura no sempre fa augmentar el risc; l'epidemiologia de la malaltia, que és influenciada per factors com ara les activitats i les intervencions humanes, els canvis d'usos del sòl, la migració humana i les variables socioeconòmiques, i el cicle de la malaltia, en el qual poden intervenir diversos patògens, vectors i altres animals infectats.

L'augment esperat en les temperatures a Catalunya accelerarà el desenvolupament de mosquits i n'augmentarà la població d'adults. Les temperatures hivernals més suaus reduiran la mortalitat de mosquits a l'hivern i també ampliaran el període potencial de transmissió de malalties (Sainz-Elise et al., 2010). A més, les temperatures altes acceleren la digestió de la sang per part dels mosquits, fet que provoca més picades, i també afavoreixen el desenvolupament del patògen. Tots aquests factors combinats augmenten el risc potencial de transmissió de malalties. Els canvis en les precipitacions poden alterar la disponibilitat d'aigua per a la reproducció dels mosquits, però, en darrer terme, aquests canvis seran modulats per l'acció humana, fet pel qual són més difícils de preveure.

Les previsions indiquen que, pel que fa al dengue, Europa patirà un augment de casos pel canvi climàtic, tot i que s'espera més afectació a les zones costaneres de la Mediterrània. Un estudi realitzat als diferents països d'Europa determina que algunes àrees del sud de Catalunya podrien patir més de 10 casos per cada 100.000 habitants, cosa que significa un increment significatiu respecte del perí-

ode basal (1960-1990), en què es registrava de 0,3 a 1 cas per cada 100.000 habitants (Bouzid *et al.*, 2014). S'esperen patrons similars de chikungunya, ja que es transmet per la mateixa espècie de mosquit i té característiques de transmissió similars. Pel que fa a la malària, el risc de reaparició a Espanya és alt a causa de les condicions climàtiques, la proximitat amb l'Àfrica, l'afluència de persones que han estat en zones endèmiques com l'Àfrica subsahariana i l'abundància de diverses espècies de vectors (Sainz-Elipe *et al.*, 2010). A Catalunya habiten diverses espècies de vectors de la malària, com ara l'*Anopheles atroparvus* (el vector que probablement va provocar un cas autòcton de malària *vivax* a Aragó el 2010) i l'*Anopheles plumbeus* (vector de malària *falciparum*).

18.5. Altres possibles efectes del canvi climàtic en la salut

Existeixen altres fenòmens provocats pel canvi climàtic que, tot i que podrien afectar negativament la salut de la població, o bé tenen menys risc per a Catalunya o bé l'evidència científica presenta força incertesa sobre quina serà la magnitud dels efectes en el cas de Catalunya. En aquest apartat es descriuen les projeccions d'alguns d'aquests efectes, com ara la radiació ultraviolada (UV) i les malalties transmeses per l'aigua i els aliments.

Les altes temperatures de l'estiu incrementen el risc de patir els efectes de l'exposició ultraviolada, que pot provocar càncer de pell (melanoma) i d'ulls. En el cas de Catalunya, les dones presenten taxes més altes d'incidència de melanoma (10 casos anuals per cada 100.000 habitants davant de 8 casos anuals en els homes). Per contra, la taxa de mortalitat és superior en els homes (1,82 % respecte d'1,27 %). Malgrat que la tendència de la incidència de melanoma ha anat creixent durant els darrers decennis, especialment en les dones (Marcos-Gragera *et al.*, 2010), la capa d'ozó estratosfèric s'ha anat protegint d'ençà que va entrar en vigor el Protocol de Mont-real, el 1989. Per això, les projeccions sobre escenaris futurs presenten grans incerteses, ja que la radiació UV depèn, en bona part, dels canvis en la cobertura dels núvols i dels contaminants atmosfèrics (McKenzie *et al.*, 2011).

Fenòmens climàtics extrems com ara les inundacions, les pluges torrencials i els períodes de

sequera seguits de fortes pluges, poden afavorir l'aparició de malalties transmeses per l'aigua. A més, l'escassetat d'aigua pot provocar malalties diarreïques i altres malalties de transmissió hídrica per mitjà del subministrament d'aigua. A Catalunya, el Programa de Vigilància i Control Sanitaris de les Aigües de Consum Humà de Catalunya garanteix una qualitat elevada de l'aigua de consum. Si es mantenen els protocols de vigilància i es garanteix la qualitat del sistema de tractament de l'aigua potable i residual, les malalties transmeses per l'aigua no implicaran cap amenaça real per a Catalunya.

El canvi climàtic també té conseqüències en l'aparició i la distribució de les malalties transmeses per aliments. Les altes temperatures i els episodis de pluges intenses i d'inundacions poden afectar la producció agrícola i afavorir el risc de malalties de transmissió alimentària. Una de les principals malalties alimentàries a Espanya és la salmonel·losi. A Catalunya, un estudi assenyalava que el nombre de gastroenteritis aguda infecciosa causada per salmonel·losi va disminuir entre el 2000 i el 2010, mentre que els casos provocats per virus de Norwalk van créixer (Martínez *et al.*, 2013). L'Agència Catalana de Seguretat Alimentària, l'òrgan encarregat de garantir la seguretat alimentària a Catalunya, facilita que el risc de patir aquestes malalties sigui baix al nostre país.

18.6. Vulnerabilitats

Les conseqüències del canvi climàtic en la salut són determinades pel coneixement de la vulnerabilitat que presenten alguns grups de la població, entesa com la predisposició de veure's afectat d'una manera negativa pel canvi climàtic. En aquest apartat es descriuran els principals grups de la població catalana més vulnerables. Tot i que s'analitzen d'una manera separada, sovint les susceptibilitats més grans es produeixen quan es combinen diferents factors.

18.6.1. Gent gran

Les persones grans (de més de seixanta-cinc anys), i especialment les que pateixen malalties cròniques, són les més vulnerables davant dels episodis d'altres temperatures, ja que la capacitat termoreguladora reduïda i l'elevat lliandar de suor provoca que la calor no es detecti fins que el cos ja està exposat a un fort estrès. En el cas de Catalu-

nya, en les persones de seixanta a setanta anys la mortalitat augmenta un 20 % durant una onada de calor, mentre que en el grup de vuitanta a noranta anys aquest increment és més gran del 40 %. La causa principal de defunció d'aquest col·lectiu són les malalties respiratòries i cardiovasculars (Basagaña *et al.*, 2011). La gent gran també és més vulnerable a les temperatures baixes, ja que els provoca hipotèrmies i problemes cardiovasculars i respiratoris (Ballester *et al.*, 2011). A Barcelona, el risc de mortalitat en els episodis de temperatures baixes és especialment elevat en les persones més grans de setanta-cinc anys, en les quals la mortalitat pot augmentar prop d'un 25 %, principalment per malalties cardiovasculars i cerebrovasculars (Analitis *et al.*, 2008). Existeixen múltiples factors que ho expliquen: les condicions físiques, l'existència prèvia de determinades malalties, el consum de determinats fàrmacs i la tendència general a passar més hores a casa, quan, en alguns casos, pot manca una climatització adequada.

18.6.2. Nadons

Un altre grup de població vulnerable als efectes del canvi climàtic són els nadons, sobretot pel que fa a l'exposició a les onades de calor, ja que tenen el sistema fisiològic i metabòlic menys desenvolupat que els adults i presenten la impossibilitat de cuidar-se ells mateixos. Sortosament, la mortalitat infantil en països desenvolupats com el nostre és molt baixa, i la major part dels efectes de la calor en els nens es detecten en els increments de la morbiditat. No obstant això, utilitzant una mostra suficientment gran (la mortalitat total de Catalunya en un període de vint-i-quatre anys), s'ha pogut estimar que el risc de mortalitat infantil augmenta un 25 % els dies de calor extrema. Aquest augment de risc es focalitza especialment en la primera setmana de vida (Basagaña *et al.*, 2011). Malgrat l'increment elevat de risc detectat, es tradueix en molt pocs casos, ja que s'estima que, en tota la població catalana, 333 morts l'any es poden atribuir a l'efecte de les altes temperatures, i només un 0,6 % de la mortalitat total es produeix en infants.

18.6.3. Gestants

Les dones embarassades també són un col·lectiu de risc en el qual s'han focalitzat diferents estudis recents. Concretament, s'ha investigat la relació en-

tre la calor i la reducció del temps de gestació i el naixement prematur dels nadons, que provoquen nombrosos problemes de salut al llarg de la vida del nadó (com ara trastorns en el desenvolupament neurològic i problemes respiratoris i de creixement). Una revisió recent de l'evidència científica basada en vint-i-quatre estudis sembla donar suport a la tesi que la calor incrementa el risc de naixement prematur (Beltran *et al.*, 2014). És el cas de Barcelona, on un estudi conclou que els nadons nascuts després que es produeixi un episodi de calor extrema tenen una gestació lleugerament més curta. Per exemple, es mostra un avançament mitjà del part de fins a cinc dies quan la temperatura mitjana aparent (que té en compte, també, la humitat) és superior als 32 °C (Dadvand *et al.*, 2011). Tot i que s'han suggerit alguns mecanismes biològics per a explicar aquesta associació, es tracta d'una àrea que encara requereix recerca addicional.

18.6.4. Malalts mentals

En el darrer informe (AR5), l'IPCC destaca els malalts mentals com un grup vulnerable als efectes de l'escalfament global. No solament pels problemes de salut originats després de fenòmens extrems, sinó per l'agreujament de la malaltia a les persones que ja la patien. Una troballa força consistent arreu és el risc més gran de mortalitat i d'hospitalitzacions durant les onades de calor en persones amb problemes psiquiàtrics previs (Basu, 2009). A Catalunya, l'increment més elevat de la mortalitat durant les onades de calor s'observa en les morts que tenen com a causa principal malalties mentals i del sistema nerviós, com s'observa a la figura 18.2 (Basagaña *et al.*, 2011). Els mecanismes que poden contribuir a un empitjorament de la salut en les persones amb aquestes malalties són diversos. D'una banda, l'ús de medicaments psicotròpics augmenta la temperatura corporal i pot provocar una alteració i un deteriorament dels mecanismes termoreguladors que, per exemple, impedeixen una sudoració correcta. Aquests medicaments s'utilitzen en el tractament de malalties com ara la demència, la malaltia d'Alzheimer i els trastorns de personalitat i d'ansietat, entre d'altres. D'altra banda, els afectats per aquests trastorns són persones amb capacitat d'autocura reduïda o escassa (per exemple, per a hidratar-se o vestir-se adequadament), cosa que també els fa més vulnerables (Basagaña *et al.*, 2011).

18.6.5. *Nivell socioeconòmic*

Les persones i les llars més vulnerables als efectes del canvi climàtic acostumen a ser les que tenen un nivell socioeconòmic baix, entre les quals s'observen, també, els pitjors indicadors de salut. L'evidència científica mostra, encara que no d'una manera conclouent, una possible relació entre un nivell socioeconòmic baix i l'increment del risc de mortalitat per calor. De fet, dins d'una mateixa ciutat es poden detectar variacions geogràfiques en els efectes de les onades de calor en la salut, explicades, en part, per diferències socioeconòmiques. En aquest sentit, un estudi realitzat a l'àrea metropolitana de Barcelona va constatar que hi ha determinades seccions censals que poden tenir fins al doble de risc de mortalitat durant les onades de calor que altres seccions (figura 18.5). Malgrat que es va estudiar un nombre limitat de factors, l'estudi va detectar que són les àrees amb habitatges més antics, amb més treballadors que realitzen feines manuals i on els residents perceben que hi ha pocs espais verds les que mostren més risc de mortalitat durant aquests dies de calor (amb increments del 49 %, el 59 % i el 60 % en el risc de mortalitat, respectivament). Estudis anteriors, com ara el de l'avaluació dels efectes de l'onada de calor del 2003 en la mortalitat, ja van detectar diferències per nivell socioeconòmic. Concretament, els efectes van ser superiors en el grup de nivell educatiu baix (Borrell *et al.*, 2006).

18.6.6. *Ocupacions de risc*

Determinades ocupacions també esdevenen més vulnerables, ja que certes exposicions (a temperatures extremes, per exemple) poden provocar problemes físics i de rendiment. En conseqüència, ja hi ha estudis que indiquen que les lesions per accident de treball s'incrementen amb l'augment de la temperatura ambient, encara que quan s'arriba a temperatures extremes disminueixen, segurament per l'activació dels plans de prevenció (Xiang *et al.*, 2014). Els treballadors més susceptibles són els que desenvolupen activitats a l'aire lliure (per exemple, en els sectors de la construcció, l'agricultura, la pesca i la silvicultura, i l'electricitat, el gas i l'aigua), i també els obrers, els treballadors intermedis de producció i transport i els comerciants que treballen en petites i mitjanes empreses (segurament amb menys tradició en prevenció) (Xiang *et al.*, 2014). Malgrat que no s'ha estudiat la relació entre els accidents laborals i la temperatu-

ra a Catalunya, sí que s'ha observat que els dies amb temperatures més elevades hi ha més risc de mortalitat per causes externes, entre les quals les caigudes, les lesions i els accidents de trànsit (Basagaña *et al.*, 2011).

18.7. **Estratègia d'adaptació: el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut**

Catalunya disposa d'una normativa transversal i sectorial per a afrontar els efectes del canvi climàtic. En particular, té una rellevància especial l'Avantprojecte de Llei de canvi climàtic, que preveu, entre d'altres, els impactes en la salut. L'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCAAC) i el Pla Interdepartamental de Salut Pública (PINSAP) detallen les mesures promogudes per a minimitzar els efectes del canvi climàtic en la salut.

Molts països disposen de plans específics per a prevenir els efectes de les onades de calor en la salut. La major part d'aquests plans van entrar en vigor a Europa després de la mortífera onada de calor del 2003. En el cas de Catalunya, el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut (POCS), en funcionament des del 2004, coordina diversos departaments del govern autonòmic, les agències meteorològiques, els hospitals i els serveis d'emergència, els ajuntaments, els treballadors socials i l'associació de farmacèutics, entre d'altres. Els objectius són preveure les onades de calor amb antelació i coordinar tots els recursos per a prevenir els efectes en la salut, en especial en els sectors de població més vulnerables. El programa inclou un paquet de mesures, entre les quals destaca la difusió d'informació a la població general, els professionals de la salut i els treballadors (especialment dels sectors de construcció, les instal·lacions elèctriques, la llaureria i els restaurants), i una línia telefònica per a consultar dubtes. De la mateixa manera, es requereix que tots els centres de salut i les residències socials tinguin un pla d'acció per als períodes d'onada de calor per a garantir els recursos i el personal per a cobrir les necessitats dels pacients. A més, els centres d'assistència primària elaboren un cens de les persones més vulnerables, a les quals cal fer un seguiment especial durant les onades de calor. La figura 18.6 mostra algun material de difusió del POCS.

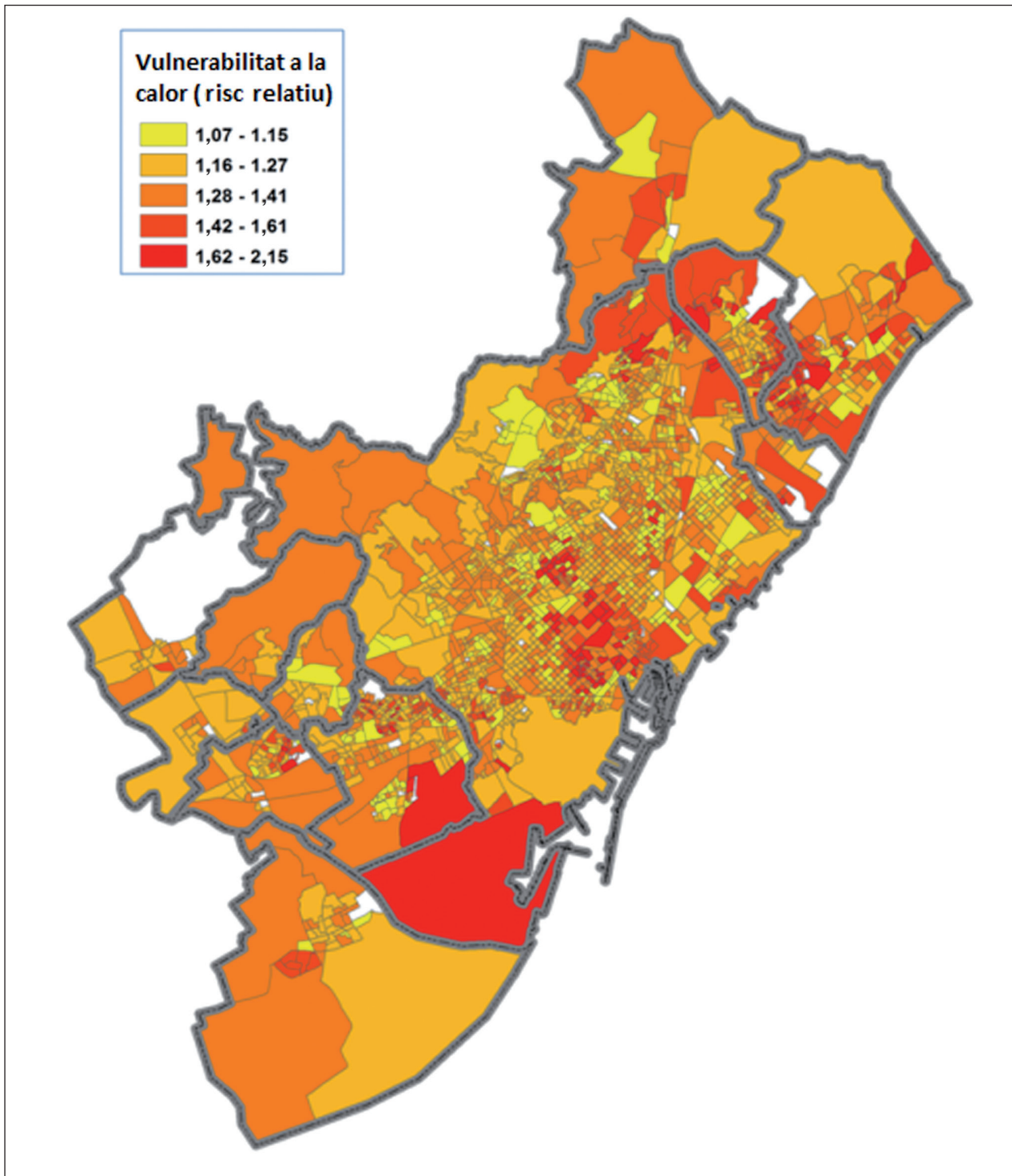


FIGURA 18.5. Mapa de la vulnerabilitat a la calor a l'àrea metropolitana de Barcelona durant el període 1999-2006.

Font: Xu *et al.*, 2013.

Davant de l'abast generalitzat de la implementació de plans de prevenció dels efectes en la salut de les onades de calor, es posa de manifest la necessitat d'avaluar-ne l'efectivitat amb l'objectiu de poder millorar i adaptar les actuacions a les poblacions més vulnerables. Fins ara, no s'ha realitzat cap avaluació formal del POCS. Tot i això, ja existeixen alguns es-

tudis que han determinat reduccions en la mortalitat després de la introducció de mesures d'adaptació a la població local. És el cas d'Itàlia, on després de la implementació d'activitats preventives dels efectes de la calor en la salut, la mortalitat entre els més grans de seixanta-cinc anys s'ha reduït entre un 13 i un 37 % els dies calorosos (Schifano *et al.*, 2012).

Un estiu ben fresc

Fresca a casa

- Tanqueu les persianes quan hi toca el sol.
- Obriu les finestres durant la nit.
- Estigueu-vos a les zones més fresques.
- Refresqueu l'ambient amb ventiladors, aire condicionat, etc.
- Si no teniu aire condicionat, mireu de passar com a mínim dues hores al dia en llocs climatitzats (centres comercials, casals, cinemes, etc.).

Molta aigua

- Beveu aigua i sucs de fruita.
- Refresqueu-vos sovint.
- No prengueu begudes alcohòliques.
- Eviteu els menjar molt calents.

Busqueu l'ombra al carrer

- Eviteu sortir al migdia, quan fa més calor.
- Porteu una gorra o un barret i utilitzeu roba lleugera que no sigui ajustada.
- Mulleu-vos una mica la cara i la roba.
- Vigileu en els trajectes amb cotxe durant les hores de més sol i no deixeu les finestres tancades quan algú es queda a dins.
- Limiteu l'activitat física intensa.

Si coneixeu persones grans o malaltes que viuen soles, ajudeu-les a seguir aquests consells.

Generalitat de Catalunya
Departament de Salut
http://canal Salut.gencat.cat

Sanitat Segura 24 hores
902 111 444

012

MESURES D'ACTUACIÓ AMBIENTAL PER PREVENIR LA CALOR

La **hipertèrmia** és l'augment anormal de la temperatura corporal a causa de l'exposició a temperatures ambientals elevades.

La regulació de la temperatura corporal en la persona gran és una condició indispensable per al bon funcionament integral.

1 FACTORS DE RISC EN LES PERSONES GRANS

- Problemes de circulació perifèrica
- Malalties neurodegeneratives
- Malalties cròniques: MPOC (malaltia pulmonar obstructiva crònica), HTA (hipertensió arterial), cardiovasculars...
- Excés de medicaments: polifarmàcia
- Sobrepès o manca de pes exagerats

2 SÍNDROMES CLÍNiques CAUSADES PER LA CALOR

- Rampes a les cames
- Esgotament
- Mal de cap

3 NORMES A SEGUIR

En cas de temperatura ambiental alta

- Ingerir líquids, fins i tot sense tenir set
- Evitar menjar calents
- Fer servir vestits lleugers i evitar peces tancades
- Vestir-se amb roba de cotó
- No fer exercici vigorosos
- No exposar-se al sol
- Refrescar-se amb aigua freda i cremes hidratants
- Utilitzar capells i para-sols

A l'habitatge procurarem

- Refrigerar les estances
- Posar cortines i tendals a les finestres més assolades
- Obrir finestres a la nit per afavorir el corrent d'aire
- Mantenir a les fosques les habitacions amb més radiació diürna
- Evitar l'aglomeració de persones en espais reduïts

En cas d'hipertèrmia

- Avisar els serveis mèdics
- Aplicar els tractaments prescrits
- Col·locar draps humits i freds

El treball i la calor: més prevenció a l'estiu

quaders de prevenció

I CAT | CAST |

Generalitat de Catalunya
Departament d'Empreses i Ocupació
Instituts de Recerca i Innovació Laborals

Busqueu l'ombra al carrer

- Eviteu sortir al migdia, quan fa més calor.
- Porteu una gorra o un barret i utilitzeu roba lleugera i que no sigui ajustada.
- Mulleu-vos una mica la cara i la roba.
- Vigileu en els trajectes amb cotxe durant les hores de més sol.
- Limiteu l'activitat física intensa.

Fresca a casa

- Tanqueu les persianes quan hi toca el sol.
- Obriu les finestres durant la nit.
- Estigueu-vos a les zones més fresques.
- Refresqueu l'ambient amb ventiladors, aire condicionat, etc.
- Si no teniu aire condicionat, mireu de passar com a mínim dues hores al dia en llocs climatitzats (centres comercials, casals, cinemes, etc.).

Molta aigua

- Beveu aigua i sucs de fruita.
- Refresqueu-vos sovint.
- No prengueu begudes alcohòliques.
- Eviteu els menjar molt calents.

Generalitat de Catalunya
Departament de Salut
http://canal Salut.gencat.cat

Sanitat Segura 24 hores
902 111 444

012

www.gencat.cat/salut

FIGURA 18.6. Material utilitzat pel POCS, de la Generalitat de Catalunya.

18.8. Estratègies de mitigació amb cobeneficis per a la salut

La major part de les mesures destinades a combatre el canvi climàtic, i en particular les que busquen una mitigació de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, tenen el potencial de ser beneficioses per a la salut, directament i indirectament. En aquest apartat es discutiran algunes d'aquestes mesu-

res que tenen o poden tenir una gran aplicabilitat a Catalunya.

18.8.1. Espais verds

Incrementar els espais verds és una mesura de mitigació del canvi climàtic, ja que la vegetació contribueix a l'absorció de gasos amb efecte d'hivernacle (vegeu el capítol 20), i té, al mateix temps, abundants beneficis per a la salut. Viure envoltat

d'espais verds incrementa l'activitat física, disminueix els nivells d'estrès i de depressió i redueix els nivells de contaminació atmosfèrica i de soroll. Diversos estudis, molts dels quals realitzats a Catalunya, han assenyalat beneficis en la salut dels nens (per exemple, mitjançant la reducció de l'obesitat i el sedentarisme; Dadvand *et al.*, 2014), en el desenvolupament de l'embaràs i en l'estat de salut mental i general de la població (Triguero-Mas *et al.*, 2015).

Les zones urbanes són més susceptibles a les onades de calor, i s'hi arriba a produir l'efecte de l'illa de calor urbana (com s'ha comentat anteriorment a l'apartat 18.2.1). Algunes investigacions han conclòs que els espais verds urbans protegeixen dels efectes de la intensa calor durant l'estiu en termes de disminució de la mortalitat. L'OMS, amb l'objectiu d'assegurar una bona qualitat de vida als habitants de les grans ciutats i reduir, així, l'efecte de l'illa de calor urbana, suggereix que cada ciutat hauria de tenir un mínim de 9 m² de superfície verda per habitant i assegura que la quantitat òptima és de 10 a 15 m², una xifra molt superior als 6,80 m² de la ciutat de Barcelona (aquesta xifra no inclou el parc de Collserola; OCCC, 2014).

18.8.2. Transport actiu

Canviar els hàbits d'ús del transport privat es considera una mesura que té un gran impacte en la reducció d'emissions de CO (vegeu el capítol 19). Aquesta mesura de mitigació també té cobeneficis en termes de salut, ja que fomenta el transport actiu (com ara anar amb bicicleta o caminar) i el transport públic, i incrementa l'activitat física de la població especialment en zones urbanes. També ajuda a reduir l'obesitat i l'exposició a la contaminació ambiental, millora la salut mental i redueix els accidents de trànsit i la despesa sanitària.

A Barcelona s'han realitzat diversos estudis per a avaluar l'impacte en la salut del fet de renunciar al cotxe privat com a mitjà de transport i utilitzar el transport públic i la bicicleta. L'escenari que presenta més beneficis per a la salut en termes de disminució de la morbiditat és el que considera un ús més gran de la bicicleta, ja que fomenta la realització d'activitat física (Rojas-Rueda *et al.*, 2013). Malgrat que hi hauria guanys que repercutirien en tota la població en general, els més beneficiats

serien els qui deixessin de viatjar en cotxe. En una altra investigació, es quantifica l'impacte de reemplaçar el cotxe a l'àrea metropolitana de Barcelona per la bici i el transport públic en termes de mortalitat evitada (taula 18.3), i es conclou que, si es canviés el 40 % dels viatges en cotxe a dins de Barcelona ciutat per la bicicleta i el transport públic, s'evitarien 76 morts anuals, que pujarien a 117 si el canvi afectés tota l'àrea metropolitana.

18.9. Conclusions

A Catalunya es produeixen unes tres-centes morts anuals durant l'estiu com a conseqüència de la calor. El 40 % d'aquestes defuncions s'observen en episodis puntuals d'altres temperatures, sense que s'arribin a activar els senyals d'alerta i les mesures adients per a protegir la població.

Les principals causes de defunció relacionades amb la calor a Catalunya es relacionen amb les malalties cardiovasculars, les malalties respiratòries, les malalties del sistema nerviós i mental, la diabetis i les malalties del sistema urinari i del ronyó.

Les estimacions mostren que el nombre de defuncions relacionades amb la calor a Catalunya es pot multiplicar per vuit el 2050, de manera que es produirien més de 2.500 morts anuals.

TAULA 18.3. Reducció de les emissions de CO₂ i beneficis per a la salut derivats de la reducció dels viatges en cotxe a Barcelona

Percentatge de reducció de viatges en cotxe	CO ₂ Emissions evitades (t/any)	Morts anuals evitades
Dins de Barcelona ^a		
20 %	21.391	38
40 %	42.783	76
Àrea metropolitana de Barcelona ^b		
20 %	80.233	58
40 %	160.467	117

a. Dins de Barcelona: viatges que comencen i acaben a Barcelona ciutat.

b. Àrea metropolitana de Barcelona: viatges que comencen o acaben a Barcelona ciutat i acaben o comencen a l'àrea metropolitana.

Font: Taula adaptada de l'article de Rojas-Rueda *et al.*, 2012.

Resulten importants, també, els efectes de l'exposició al fred en la salut, especialment relacionats amb la pobresa energètica. Projeccions futures mostren que la població es tendirà a aclimatar a les altes temperatures i, per això, els episodis de fred poden tenir més efectes en la salut.

La contaminació impacta negativament en la salut, especialment la dels habitants de les zones urbanes. A Catalunya, es registren anualment unes 3.500 morts prematures causades per afectacions derivades de la contaminació de l'aire.

Els nivells de concentració de partícules en suspensió (PM₁₀) de l'àrea metropolitana de Barcelona superen reiteradament els estàndards de la Unió Europea. L'ozó troposfèric és un contaminant que produeix increments de mortalitat i hospitalitzacions. Les zones de Catalunya més afectades per aquest tipus d'ozó són el camp de Tarragona, la plana de Vic, el Pirineu oriental i les comarques de Girona.

A Catalunya, entre el 20 i el 25 % de la població pateix algun tipus d'al·lèrgia. L'augment generalitzat de les temperatures, el desplaçament i els canvis en la durada de les estacions tindran conseqüències en els atacs d'asma i les al·lèrgies.

L'augment de les temperatures afavoreix les condicions per a la transmissió de malalties causades per vectors. A Catalunya, existeix el risc d'introducció de malalties com ara el dengue, el chikungunya i la malària, de les quals actualment no hi ha casos autòctons.

Existeixen altres fenòmens provocats pel canvi climàtic que poden tenir un impacte important en la salut, però no s'han analitzat en aquest capítol per la manca d'evidència científica i de l'impacte futur esperat a Catalunya.

Els infants, les persones grans o amb patologies prèvies i la població de nivell socioeconòmic baix són els més vulnerables a patir els efectes del canvi climàtic.

El Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut implementat a Catalunya el 2004 és una mesura d'adaptació que

permet informar i alertar grups més vulnerables i, així, reduir la mortalitat associada a aquests fenòmens.

Fomentar la presència d'espais verds, especialment en les ciutats densament poblades, i impulsar l'ús del transport públic i actiu (com ara caminar i anar amb bicicleta) són dues mesures que redueixen les altes temperatures i la contaminació atmosfèrica, i, al mateix temps, disminueixen la mortalitat i l'obesitat, fomenten l'activitat física i milloren els nivells d'estrès i de depressió de la població.

18.10. Recomanacions

Les principals recomanacions per a afrontar els efectes negatius del canvi climàtic en la salut, que s'han elaborat considerant l'informe publicat recentment per la Comissió en Salut i Canvi Climàtic de la revista mèdica *The Lancet*, dirigida especialment als governs (Watts *et al.*, 2015), es detallen a continuació:

- Influir sobre els mandataris mundials perquè afrontin decididament el canvi climàtic, ja que les conseqüències poden tenir un impacte en la salut global (i local) incalculable si es tenen en compte tots els efectes (per exemple, les grans sequeres i inundacions, la disponibilitat d'aliments, les migracions, etc.).
- Comunicar els riscos per a la salut al govern nacional i també als governs locals a fi de trobar solucions a tots els nivells.
- Comunicar els riscos i les conseqüències del canvi climàtic en la salut a la societat, com a motor que incentivi i acceleri la resposta política al canvi climàtic.
- Mantenir el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut. Avaluat-ne l'efectivitat i detectar quins aspectes cal millorar.
- Generalitzar el Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut a les baixes temperatures, amb l'objectiu de protegir, també, la població dels efectes del fred.
- Incorporar el mesurament diari de contaminants atmosfèrics procedents d'una manera directa del trànsit rodat (com ara les partícules ultrafines o el carboni negre) a les xarxes de mesurament de contaminants atmosfèrics

de les ciutats. Afegir aquests contaminants al Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire.

- Reforçar el Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire amb l'objectiu de garantir el compliment dels límits establerts tant per la normativa de la Unió Europea com per l'OMS.
- Fomentar estils de vida saludables, ja que l'estat de salut basal és un predictor important dels efectes dels fenòmens meteorològics extrems.
- Mantenir i millorar les campanyes de prevenció i d'extinció dels incendis forestals.
- Incorporar i mantenir campanyes de vigilància i control de les malalties transmeses per vectors.
- Establir protocols d'actuació de les autoritats sanitàries en casos de situacions d'emergència d'epidèmies provocades per malalties transmeses per vectors.
- Mantenir i millorar els programes de control de la qualitat de l'aigua de consum humà i els protocols de seguretat alimentària.
- Fomentar polítiques que impulsin l'ús del transport actiu, especialment a les grans ciutats (com ara Barcelona), per tal de reduir les emissions, millorar la qualitat de l'aire i, al mateix temps, incrementar l'activitat física de la població i reduir l'obesitat, la inactivitat i els accidents de trànsit.
- Augmentar els espais de verd urbà a les ciutats, ja que a més de contribuir a la reducció de l'efecte illa de calor i millorar la qualitat de l'aire, milloren la salut mental i general de la població.
- Fomentar polítiques per a l'eficiència energètica dels edificis. La millora de l'aïllament dels edificis contribueix a una temperatura interior més bona i a una reducció de l'ús d'aparells com l'aire condicionat.
- Afavorir polítiques per a reduir les desigualtats socials i econòmiques, amb l'objectiu de millorar la salut de la població i la capacitat d'adaptació al canvi climàtic.
- Impulsar la recerca dels efectes del canvi climàtic en la salut, especialment en les àrees en què es disposa de menys evidència pel que fa a Catalunya (com ara l'efectivitat de diverses mesures preventives, la capacitat d'adaptació, la contaminació provocada per diferents contaminants —PM, CO—, les projeccions futures

de la pols del Sàhara, l'impacte de la distribució i l'estacionalitat del pol·len).

Referències bibliogràfiques

- ANALITIS, A.; KATSOUYANNI, K.; BIGGERI, A. [et al.] (2008). «Effects of cold weather on mortality: Results from 15 European cities within the PHEWE project». *American Journal of Epidemiology*, 168(12), p. 1397-1408.
- ANALITIS, A.; MICHELOZZI, P.; D'IPPOLITI, D. [et al.] (2014). «Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants». *Epidemiology*, 25(1), p. 15-22.
- ARMENTIA, A.; LOMBARDEO, M.; CALLEJO, A. [et al.] (2002). «Is Lolium pollen from an urban environment more allergenic than rural pollen?». *Allergologia et Immunopathologia*, 30(04), p. 218-224.
- BALLESTER, J.; ROBINE, J. M.; HERRMANN, F. R. [et al.] (2011). «Long-term projections and acclimatization scenarios of temperature-related mortality in Europe». *Nature Communications*, 2, p. 358.
- BASAGAÑA, X.; JACQUEMIN, B.; KARANASIOU, A. [et al.] (2015). «Short-term effects of particulate matter constituents on daily hospitalizations and mortality in five South-European cities: Results from the MED-PARTICLES project». *Environment International*, 75, p. 151-158.
- BASAGAÑA, X.; SARTINI, C.; BARRERA-GÓMEZ, J. [et al.] (2011). «Heat waves and cause-specific mortality at all ages». *Epidemiology*, 22(6), p. 765-772.
- BASU, R. (2009). «High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008». *Environmental Health*, 8, p. 40.
- BELTRAN, A. J.; WU, J.; LAURENT, O. (2014). «Associations of meteorology with adverse pregnancy outcomes: a systematic review of preeclampsia, preterm birth and birth weight». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(1), p. 91-172.
- BORRELL, C.; MARI-DELL'OLMO, M.; RODRÍGUEZ-SANZ, M. [et al.] (2006). «Socioeconomic position and excess mortality during the heat wave of 2003 in Barcelona». *European Journal of Epidemiology*, 21(9), p. 633-640.

- BOUZID, M.; COLÓN-GONZÁLEZ, F. J.; LUNG, T. [et al.] (2014). «Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever». *BMC Public Health*, 14, p. 781.
- CAAMAÑO ISORNA, F.; FIGUEIRAS, A.; SASTRE, I. [et al.] (2011). «Respiratory and mental health effects of wildfires: an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain)». *Environmental Health*, 10(1), p. 48.
- CECCHI, L.; AMATO, G. D'; AYRES, J. G. [et al.] (2010). «Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology». *Allergy*, 65(9), p. 1073-1081.
- D'IPPOLITI, D.; MICHELOZZI, P.; MARINO, C. [et al.] (2010). «The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project». *Environmental Health*, 9(1), p. 37.
- DADVAND, P.; BASAGAÑA, X.; SARTINI, C. [et al.] (2011). Climate extremes and the length of gestation». *Environmental Health Perspectives*, 119(10), p. 1449-1453.
- DADVAND, P.; VILLANUEVA, C. M.; FONT-RIBERA, L. [et al.] (2014). «Risks and benefits of green spaces for children: a cross-sectional study of associations with sedentary behavior, obesity, asthma, and allergy». *Environmental Health Perspectives*, 122(12), p. 1329-1335.
- FUNDACIÓ ALERGO (2015). *Estudio sobre la evolución de las alergias en Cataluña*. Barcelona: Fundació Alegro.
- GASPARRINI, A.; GUO, Y.; HASHIZUME, M. [et al.] (2015). «Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study». *The Lancet*, 386(9991), p. 369-375. També disponible en línia a: <[http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)> [Consulta: 10 març 2016].
- GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT (2014). *Informe sobre l'estat del medi ambient a Catalunya. Període 2006-2010*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat.
- HUANG, C.; BARNETT, A. G.; WANG, X. [et al.] (2011). «Projecting future heat-related mortality under climate change scenarios: a systematic review». *Environmental Health Perspectives*, 119(12), p. 1681-1690.
- IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de C. B. Field, V. R. Barros, K. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>> [Consulta: 17 febrer 2016]
- KÜNZLI, N.; PÉREZ, L. (2007). *Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a l'àrea metropolitana de Barcelona*. Barcelona: Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental.
- MADANIYAZI, L.; GUO, Y.; YU, W. [et al.] (2015). «Projecting future air pollution-related mortality under a changing climate: progress, uncertainties and research needs». *Environment International*, 75, p. 21-32.
- MARCOS-GRAGERA, R.; VILAR-COROMINA, N.; GALCERAN, J. [et al.] (2010). «Rising trends in incidence of cutaneous malignant melanoma and their future projections in Catalonia, Spain: increasing impact or future epidemic?». *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology: JEADV*, 24(9), p. 1083-1088.
- MARMOT REVIEW TEAM (2011). *The health impacts of cold homes and fuel poverty*. Londres: Friends of the Earth & the Marmot Review Team.
- MARTÍNEZ, A.; TORNER, N.; BRONER, S. [et al.]. WORKING GROUP FOR THE STUDY OF OUTBREAKS OF ACUTE GASTROENTERITIS IN CATALONIA (2013). «Norovirus: a growing cause of gastroenteritis in Catalonia (Spain)?». *Journal of Food Protection*, 76(10), p. 1810-1816.
- MCKENZIE, R. L.; AUCAMP, P. J.; BAIS, A. F. [et al.] (2011). «Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation». *Photochemical & Photobiological Sciences*, 10(2), p. 182-198.
- OCCC = OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2014). *Indicador global d'adaptació als impactes del canvi climàtic a Catalunya: Papers de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic*. Barcelona: OCCC.

- ORRU, H.; ANDERSSON, C.; EBI, K. L. [et al.] (2013). «Impact of climate change on ozone-related mortality and morbidity in Europe». *The European Respiratory Journal*, 41(2), p. 285-294.
- OSTRO, B.; TOBIAS, A.; KARANASIOU, A. [et al.] (2015). «The risks of acute exposure to black carbon in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project». *Occupational and Environmental Medicine*, 72(2), p. 123-129.
- OSTRO, B.; TOBIAS, A.; QUEROL, X. [et al.] (2011). «The effects of particulate matter sources on daily mortality: A case-crossover study of Barcelona, Spain». *Environmental Health Perspectives*, 119(12), p. 1781-1787.
- PANDOLFI, M.; TOBIAS, A.; ALASTUEY, A. [et al.] (2014). «Effect of atmospheric mixing layer depth variations on urban air quality and daily mortality during Saharan dust outbreaks». *Science of The Total Environment*, 494-495, p. 283-289.
- PÉREZ, L.; TOBIAS, A.; PEY, J. [et al.] (2012a). «Effects of local and Saharan particles on cardiovascular disease mortality». *Epidemiology*, 23(5), p. 768-769.
- PÉREZ, L.; TOBIAS, A.; QUEROL, X. [et al.] (2012b). «Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: a case-crossover study in Barcelona (Spain)». *Environment International*, 48, p. 150-155.
- ROJAS-RUEDA, D.; NAZELLE, A. DE; TEIXIDÓ, O. [et al.] (2013). «Health impact assessment of increasing public transport and cycling use in Barcelona: a morbidity and burden of disease approach». *Preventive Medicine*, 57(5), p. 573-579.
- ROJAS-RUEDA, D.; TEIXIDÓ, O.; NIEUWENHUIJSEN, M. J. (2012). «Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study». *Environment International*, 49, p. 100-109.
- SAINZ-ELIPE, S.; LATORRE, J. M.; ESCOSA, R. [et al.] (2010). «Malaria resurgence risk in southern Europe: climate assessment in an historically endemic area of rice fields at the Mediterranean shore of Spain». *Malaria Journal*, 9, p. 221.
- SAMOLI, E.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. [et al.] (2009). «The temporal pattern of mortality responses to ambient ozone in the APHEA project». *Journal of Epidemiology and Community Health*, 63(12), p. 960-966.
- SCHIFANO, P.; LEONE, M.; SARIO, M. DE [et al.] (2012). «Changes in the effects of heat on mortality among the elderly from 1998-2010: results from a multicenter time series study in Italy». *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 11, p. 58.
- SHAPOSHNIKOV, D.; REVICH, B.; BELLANDER, T. [et al.] (2014). «Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010». *Epidemiology*, 25(3), p. 359-364.
- SIMÓN, F.; LOPEZ-ABENTE, G.; BALLESTER, E. [et al.] (2005). «Mortality in Spain during the heat waves of summer 2003». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin*, 10(7), p. 156-161.
- STAFOGGIA, M.; ZAULI-SAJANI, S.; PEY, J. [et al.] (2015, en premsa). «Desert Dust Outbreaks in Southern Europe: Contribution to Daily PM10 Concentrations and Short-Term Associations with Mortality and Hospital Admissions». *Environmental Health Perspectives*.
- SUÁREZ-VARELA, M. M.; GARCÍA-MARCOS ÁLVAREZ, L.; KOGAN, M. D. [et al.] (2008). «Climate and prevalence of atopic eczema in 6- to 7-year-old school children in Spain. ISAAC phase III». *International Journal of Biometeorology*, 52(8), p. 833-840.
- TOBIAS, A.; ARMSTRONG, B.; GASPARRINI, A. [et al.] (2014). «Effects of high summer temperatures on mortality in 50 Spanish cities». *Environmental Health*, 13, p. 48.
- TRIGUERO-MAS, M.; DADVAND, P.; CIRACH, M. [et al.] (2015). «Natural outdoor environments and mental and physical health: relationships and mechanisms». *Environment International*, 77, p. 35-41.
- WATTS, N.; ADGER, W. N.; AGNOLUCCI, P. [et al.] (2015). «Health and climate change: policy responses to protect public health». *The Lancet*, 386(10006), p. 1861-1914.
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE; OECD (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*.

Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. També disponible en línia a: <<http://www.euro.who.int/en/media-centre/events/events/2015/04/ehp-mid-term-review/publications/economic-cost-of-the-health-impact-of-air-pollution-in-europe>> [Consulta: 10 març 2016].

XIANG, J.; BI, P.; PISANIELLO, D. [et al.] (2014). «Association between high temperature and work-related injuries in Adelaide, South Australia, 2001-2010». *Occupational and Environmental Medicine*, 71(4), p. 246-252.

XU, Y.; DADVAND, P.; BARRERA-GÓMEZ, J. (2013). «Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics». *Journal of Epidemiology and Community Health*, 67, p. 519-525.

YOUSOUF, H.; LIOUSSE, C.; ROBLOU, L. [et al.] (2014). «Non-accidental health impacts of wildfire smoke». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(11), p. 11772-11804.

19 Transport, mobilitat i logística

Autors

Francesc Robusté

Miquel Estrada

Francesc Robusté és doctor en enginyeria de camins, canals i ports, doctor en enginyeria, màster en transport i màster en investigació operativa per la Universitat de Califòrnia (Berkeley). És catedràtic de transport a la Universitat Politècnica de Catalunya i coordinador del grup de recerca CENIT. Fa quatre sexennis que es dedica a la recerca, concretament en la línia de la modelització del sistema de transport, i cinc quinquennis que es dedica a la docència. És autor de 365 publicacions, ha col·laborat en 200 projectes de R+D+I, ha tutoritzat 17 tesis de doctorat i 100 tesis de llicenciatura, i ha obtingut 11 premis.

Miquel Estrada és doctor en enginyeria de camins, canals i ports, professor agregat de transport a la Universitat Politècnica de Catalunya i director de projectes del consorci CENIT. Fa un sexenni que es dedica a la recerca, concretament en la línia de les operacions en transport públic i logística. És autor de 35 publicacions, ha col·laborat en 37 projectes de R+D+I i ha obtingut 2 premis de recerca.

Sumari

Síntesi	467
19.1. Introducció	468
19.2. Relació del transport, la mobilitat i la logística amb les emissions de GEH del transport: les palanques de maniobra en la gestió	468
19.3. Iniciatives de regulació dels sectors productors d'emissions	471
19.4. El transport i el canvi climàtic a Catalunya	472
19.4.1. Àmbit interurbà.....	472
19.4.2. Àmbit metropolitana i urbà	475
19.4.3. Ports	476
19.4.4. Aeroports	477
19.5. Conclusions	478
19.6. Recomanacions	479
Referències bibliogràfiques	480

Síntesi

Les emissions i el consum energètic associats al sector del transport, la logística i la mobilitat s'han reduït durant el quinquenni 2010-2015 (en un 20 % respecte de l'any 2005), però l'apropament als objectius és conjuntural. Malgrat que les noves tecnologies desenvolupades tendeixen cap a una descarbonització del transport, l'acció afirmativa de les administracions i la conscienciació creixent sobre el canvi climàtic i la sostenibilitat,

les emissions i el consum energètic del sector encara són preocupants i presenten poca factibilitat de reducció sense mesures coercitives (com ara restriccions, tarifació, regulació, etc.) d'un impacte polític evident.

Paraules clau

mobilitat, logística, externalitats del transport, operacions, emissions, descarbonització, canvi climàtic

19.1. Introducció

El transport, la mobilitat i la logística a Catalunya en el període 2010-2015 s'han caracteritzat per una reducció dels moviments de persones i de mercaderies als mitjans mecanitzats de tot el territori a causa de la crisi econòmica tant global com local, fet que ja s'havia detectat en l'anàlisi dels darrers anys del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC; Llebot, 2010). Les unitats de producció dels viatges en infraestructures lineals (vehicles/km, passatgers/km i tones/km) i els moviments dels vehicles a les terminals (ports, aeroports i estacions) han disminuït en gairebé tots els mitjans mecanitzats de transport. Conseqüentment, les emissions i el consum energètic associats al sector del transport, la logística i la mobilitat s'han reduït, de manera que la crisi ha actuat com a facilitadora dels nivells de sostenibilitat.

Durant aquest darrer quinquenni també s'ha percebut una consolidació de la consciència col·lectiva (d'empreses i d'administracions) i individual pel que fa als efectes associats al transport en el canvi climàtic i les emissions locals, cosa que s'ha materialitzat en la potenciació pública de l'electromobilitat i el foment de mitjans no motoritzats per al transport individual als plans de mobilitat de les ciutats. També cal destacar nombrosos projectes pilot de noves tecnologies sobre l'ús d'energies més netes en el transport marítim (com ara el gas) i ferroviari (com ara el gas natural líquid), l'electrificació completa d'autobusos (la qual supera la hibridització dels motors de combustió i elèctric) i de vehicles auxiliars en terminals portuàries per al moviment intern de la mercaderia (com ara els carretons portic o *straddle carriers*) i nous models d'avions més eficients. No obstant això, la difusió d'aquestes noves tecnologies es produeix lentament a causa del preu d'adquisició elevat i de la poca autonomia d'aquests vehicles en comparació de les tecnologies madures dels motors tèrmics (tot i la conscienciació sobre el canvi climàtic i la discriminació positiva dels governs en matèria d'incentius fiscals).

Si bé la reducció de la mobilitat experimentada en aquest quinquenni ha tingut un efecte positiu en la mitigació del canvi climàtic, la pregunta que ens formulem és si els sectors del transport i la logística del país han continuat desenvolupant po-

lítiques i mesures per a combatre'l i si les mesures han estat eficients per a obtenir percentatges (significatius) de disminució dels gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) superiors a la davallada de la mobilitat (un apropament als objectius casual o circumstancial).

19.2. Relació del transport, la mobilitat i la logística amb les emissions de GEH del transport: les palanques de maniobra en la gestió

Les ciutats que configuren el territori català esdevenen una plataforma en la qual es desenvolupa tot un conjunt d'activitats i de serveis cada cop més heterogenis que determinen l'activitat econòmica, cultural, social i d'oci, l'assentament de persones i la potencialitat de la generació i l'atracció de viatges. De fet, el 70 % de la població europea resideix en ciutats. Les polítiques locals de desenvolupament tenen com a principi l'oferta d'una accessibilitat (sovint valorada en temps o en temps i cost convertits en *cost generalitzat*) en tota l'extensió per a garantir el dret a l'accessibilitat universal i equitativa dels ciutadans. No obstant això, la mobilitat global del conjunt de la població i dels béns de consum és regulable a causa dels efectes negatius en matèria de congestió, contaminació atmosfèrica i seguretat.

Les tecnologies han permès incrementar progressivament la velocitat dels mitjans de transport, cosa que s'ha associat al progrés, al desenvolupament urbà i a l'extensió dels límits físics i econòmics d'un assentament urbà. Tanmateix, la velocitat té un preu des del punt de vista econòmic, social i ambiental. Si la productivitat i la competitivitat del sector del transport es maximitza a velocitats altes (cada mitjà de transport té un interval de *velocitats òptimes*, per sota i per sobre de les quals genera aspectes més negatius que no pas positius), cosa que garanteix un temps de viatge baix als usuaris, això entra en contraposició amb altres visions. Des del punt de vista de la seguretat, el risc d'accidents es minimitza a velocitat nul·la, però des del punt de vista de l'eficiència energètica, el valor òptim dels motors tèrmics se situa prop dels 70-90 km/h. Per tant, és necessari establir un balanç ponderat (amb pesos) entre el ventall d'efectes de la velocitat i considerar la percepció de la població i el grau d'acceptabilitat social.

El volum d'emissions (E) produït pel flux vehicular que circula per una via determinada depèn bàsicament de dos factors: el factor unitari d'emissió dels vehicles, f_e (grams d'element contaminant/km), que sovint depèn de la velocitat de circulació, i el quilometratge de tots els vehicles que circulen per la via, M (vehicles/km). L'avaluació del consum de carburant (C) del mateix flux es pot fer d'una manera similar, mitjançant la determinació del factor de consum unitari dels vehicles, f_c (litres de carburant/km per a una velocitat determinada). D'aquesta manera, s'obtenen les equacions següents:

$$C = f_c M$$

$$E = f_e M$$

Els factors unitaris d'emissió o de consum depenen, bàsicament, de la velocitat del desplaçament, de la tipologia del vehicle (del motor, del cubicatge, del tipus de combustible, etc.), de les condicions atmosfèriques (com ara un motor fred o calent), del pes (per tant, de l'ocupació o la càrrega) i de les dimensions del vehicle (EEA, 2007). Els factors de consum més petits (i, per extensió, els factors d'emissió més petits dels gasos que són proporcionals al consum de carburant, com ara el CO_2) es produeixen, com ja s'ha esmentat, en un interval de velocitat de 70 a 90 km/h. Tanmateix, els factors d'emissió o les partícules que no presenten cap relació amb el consum (NO_x , PM_{10}) mostren un comportament heterogeni en els diferents intervals de velocitat.

En general, es pot incidir en qualsevol dels dos factors (o ambdós) d'emissions o de consum de carburant unitari i en la quantitat de mobilitat amb l'objectiu de reduir les emissions i el consum energètic. Des de fa decennis, els fabricants de vehicles han liderat un procés industrial de reducció dels factors d'emissió i de consum basat en una millora progressiva de l'eficiència del vehicle i han actuat en la minimització del consum dels motors, el disseny aerodinàmic i la reducció de la tara dels vehicles. En el darrer decenni, amb l'entrada al mercat dels vehicles d'etiqueta mediamambiental Euro V i VI, bàsicament s'ha treballat en la reducció de les emissions locals (NO_x i partícules) dels vehicles de motor dièsel, ja que són les més perjudicials per a la salut humana, més que no

pas en la reducció dels GEH (el gran objectiu dels decennis anteriors).

La taula 19.1 mostra que els vehicles lleugers Euro VI redueixen en un 50 % les emissions unitàries de NO_x respecte dels vehicles Euro IV, però que, en canvi, no comporten cap reducció de CO_2 . S'ha deixat de banda la reducció de les emissions de CO_2 per tal de centrar-se en les emissions de NO_x i de PM, especialment dels motors dièsel. Ens trobem, per tant, en un marc normatiu que fa cinc anys que considera que les emissions de CO_2 o bé no es poden reduir més sense un canvi de paradigma, o bé no es consideren, o bé han deixat de ser prioritàries en l'agenda política que condiciona els fabricants i els consumidors (de vehicles).

No obstant això, aquests models indirectes d'estimació de consum i d'emissions presenten limitacions. Els factors d'emissió i de consum publicats per l'Agència Europea de Medi Ambient (EEA; el 2007, el 2009 i el 2013) es calculen al laboratori i tenen en compte patrons de conducció no regulada. Consideren que un flux vehicular en règim continu circula a una velocitat constant determinada, cosa que comporta la infravaloració de les estimacions en règim discontinu (la variació significativa de la velocitat i les parades i les detencions freqüents), especialment en ciutats on la presència de semàfors és alta. En el cas dels vehicles més nous, la mostra de vehicles monitorats en condicions reals de circulació és reduïda i presenta una variació de factors d'emissió, especialment per als vehicles de motor dièsel Euro V i VI en el cas del contaminant local NO_x . Els factors d'emissió de NO_x de l'Euro V detectats en proves reals són de 0,8 g/km i són quatre cops superiors a les proves reguladores que marquen els límits teòrics màxims (0,18 g/km). Les darreres proves en condicions reals de circulació aporten valors molt semblants als assenyalats per l'EEA (Ermes, 2015). No obstant això, aquestes mateixes proves constaten que els vehicles comercials lleugers de motor dièsel Euro V presenten valors significativament superiors als dels cotxes, de prop d'1,2 g/km, i que els darrers cotxes de motor dièsel Euro VI mostren valors molt superiors als 0,3 g/km nominals. Per tant, les dues conclusions són que en aquests últims casos els factors d'emissió publicats per l'EEA s'hauran d'actualitzar en la mesura que es facin més pro-

TAULA 19.1. Distribució del parc mòbil censat a Catalunya i determinació del factor d'emissió per a cada etiqueta ambiental en vehicles de motor dièsel

EDAT	CILINDRADA	% TOTAL AGRUPACIÓ	NO _x		CO		VOC		PM		SO ₂	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂										
			Velocitat	FE [g/km]	Velocitat	FE [g/km]	Velocitat	FE [g/km]	Velocitat	FE [g/km]	FE [g/km]	FE [g/km]	FE [g/km]	FE [g/km]	FE [g/km]	FE [g/km]									
Pre ECE ECE 15-00/01 (valors 00/01) anteriors al 1978	fins a 1.999 cc	1,60 %	10-130	0,444	10-130	0,935	0,076	10-130	10-130	0,133	0,011	0,001	0	0,005	314,2										
	més de 2.000 cc	0,14 %	10-130	0,742	10-130																				
ECE 15-02 1979-1980 1979-1980	fins a 1.999 cc	1,20 %	10-130	0,444	10-130																				
	més de 2.000 cc	0,10 %	10-130	0,742	10-130																				
ECE 15-03 1981-1985	fins a 1.999 cc	1,49 %	10-130	0,444	10-130																				
	més de 2.000 cc	0,13 %	10-130	0,742	10-130																				
ECE 15-04 1986-1992	fins a 1.999 cc	5,74 %	10-130	0,444	10-130																				
	més de 2.000 cc	0,50 %	10-130	0,742	10-130																				
Euro I 1992-1995	fins a 1.999 cc	4,09 %	10-130	0,586	10-130											0,190	10-130	0,028	10-130	0,072	0,030	0,001	0,002	0,011	119,3772
	més de 2.000 cc	0,44 %	10-130		10-130												0,040	10-130							
Euro II 1995-2001	fins a 1.999 cc	7,73 %	10-130	0,569	10-130	0,069	10-130	0,018	10-130	0,041	0,030	0,001	0,004	0,007											
	més de 2.000 cc	0,96 %	10-130		10-130		0,050	10-130																	
Euro III 2001-2004	fins a 1.999 cc	20,16 %	10-130	0,678	10-130	0,029	10-130	0,010	10-130	0,033	0,023	0,001	0,009	0,003											
	més de 2.000 cc	2,30 %	10-130		10-130		0,014	10-130																	
Euro IV 2005-2010	fins a 1.999 cc	34,18 %	10-130	0,441	10-130	0,013	10-130	0,004	10-130	0,024	0,00	0,001	0,009	0,000											
	més de 2.000 cc	4,33 %	10-130		10-130		0,004	10-130																	
Euro V 2010-2013	fins a 1.999 cc	10,84 %	10-130	0,610	10-130	0,040	10-130	0,008	10-130	0,002	0,000	0,002	0,004	0,000											
	més de 2.000 cc	0,81 %	10-130		10-130		10-130																		
Euro VI	fins a 1.999 cc	3,07 %	10-130	0,210	10-130	0,049	10-130	0,008	10-130	0,002	0,000	0,002	0,004	0,000											
	més de 2.000 cc	0,20 %	10-130		10-130		10-130																		
Total		100,0 %		0,449		0,128		0,015		0,038	0,0103	0,001	0,006	0,002	122,818										

Font: EEA (2007, 2009 i 2013).

ves i, en segon lloc, que la producció d'emissions contaminants locals dels vehicles de motor dièsel en condicions normals és superior al límit màxim regulador nominal fixat per la política europea, tal com ha assenyalat la premsa mundial en diversos casos de marques automobilístiques de renom. No obstant això, la introducció de vehicles híbrids

(un percentatge encara petit), purament elèctrics (amb bateries o amb cèl·lules d'hidrogen) o de gas farà que els factors d'emissions globals del parc de vehicles continuïn disminuint.

L'altra gran variable per a mitigar els efectes en matèria d'emissions i de consum és la reducció

del quilometratge del parc mòbil, que, com hem comentat anteriorment, ha patit una disminució a causa de la crisi econòmica. No obstant això, s'espera que en el futur aquesta variable torni a presentar els valors anteriors a la crisi i que mostri una tendència creixent, especialment en els desplaçaments intermunicipals. Tanmateix, tot i que el nombre de viatges pot créixer, s'espera que l'increment en desplaçaments urbans es produeixi en els mitjans no motoritzats i el transport públic col·lectiu (TPC). No obstant això, les dificultats pressupostàries dels governs locals i regionals dels darrers anys han fet que les inversions per a fomentar el TPC pràcticament s'hagin congelat. Altres sistemes d'increment de l'ocupació tenen problemes d'aplicació heterogenis. Els sistemes de vehicles compartits (*carpooling*) pateixen una segona versió del servei per a adaptar-se a les pautes de mobilitat de les persones (la primera versió no les tenia en compte) i se circumscriuen a col·lectius molt específics que permeten la compatibilitat horària dels desplaçaments (*commuters*). Els sistemes de cotxe multiusuari (*carsharing*) comporten una disminució de l'inventari d'actius invertits en la mobilitat privada i una reducció de les necessitats d'aparcament, però no redueixen gaire les emissions ni el consum energètic perquè es continua fent un viatge (tot i que la demanda de viatges disminueix, ja que el cost d'accés és superior, i que el parc de vehicles de *carsharing* és més nou que la mitjana del parc mòbil normal). Els sistemes de serveis a la demanda amb autobús són poc rendibles en termes econòmics i els de taxi col·lectiu es troben en conflicte administratiu (com és el cas d'Uber) amb els serveis regulats de taxi, de manera que hi ha barreres legals per a la potenciació a curt termini.

19.3. Iniciatives de regulació dels sectors productors d'emissions

El transport és un sector difús d'emissions, ja que la producció d'emissions del transport no es localitza a cap punt concret del territori. Si bé tots els compromisos i els objectius d'emissions de GEH d'àmbit internacional i nacional el tenen en compte i plantegen algunes palanques de maniobra per a la contenció (com ara la COP21, a París, en la qual s'actualitzaven els compromisos de Kyoto; el Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic, a Espanya, i

l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic 2013-2020 de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, a Catalunya), el 80 % de les polítiques de mitigació del canvi climàtic en el transport s'implanten en el si de governs regionals o locals. En aquest sentit, el Pla Estratègic d'Infraestructures i Transport 2005-2020 (PEIT, d'àmbit espanyol), el Pla d'Infraestructures de Transport de Catalunya (PITC, d'àmbit català) i el Pla Director d'Infraestructures (PDI, d'àmbit metropolità) són plans que tenen com a línia vertebradora la mitigació dels efectes del transport i la logística en el medi ambient, amb informes i anàlisis específics de la sostenibilitat ambiental de les mesures. Tot i això, són plans que actuen bàsicament en l'oferta infraestructural. A més, els dos darrers plans esmentats inclouen una quantificació d'objectius numèrics de nou repartiment modal a favor de mitjans més respectuosos amb el medi ambient, però que difícilment es poden assolir sense mesures coercitives sobre l'ús de mitjans o incentius econòmics sobre la demanda. D'altra banda, el Pla Director de la Mobilitat 2013-2018 (PDM, d'àmbit metropolità) incrementa l'àmbit d'actuació de les mesures amb un enfocament conjunt d'urbanisme, mobilitat i demanda, considera els punts que atreuen i generen viatges i proposa mesures específiques sobre l'oferta i la demanda. Finalment, els darrers anys s'han aprovat nombrosos plans de mobilitat urbana (PMU) amb un enfocament clar cap a la millora de la sostenibilitat ambiental, mesures locals d'afavoriment del transport públic i dels mitjans no motoritzats i ordenances municipals que regulen els incentius i les sancions a les tecnologies de transport que no són coherents amb els objectius mediambientals.

D'altra banda, a partir de l'aprovació de la Directiva 2008/50/CE, del 21 de maig, s'ha intensificat el desenvolupament de plans de millora de la qualitat de l'aire tant en l'àmbit nacional com regional.¹ A Espanya, la transposició d'aquesta Directiva és el Reial decret 102/2011, del 28 de gener, que defineix els objectius de la qualitat de l'aire per a diversos contaminants i en regula l'avaluació. Tot i que l'abast d'aquests plans és transversal als diversos

1. Com ara el Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire a les Zones de Protecció Especial de l'Àmbit Atmosfèric (PAMQA), horitzó 2020, o el Pla de Millora de la Qualitat de l'Aire a Barcelona 2015-2018 (PMQAB).

àmbits productors d'emissions (com ara la indústria, el transport, l'àmbit domèstic, la generació d'energia, etc.), el transport és el sector principal que es considera, amb més del 50 % de les mesures plantejades respecte als altres àmbits. En particular, es fa un inventari d'emissions i de mesures de millora per al transport terrestre, el port de Barcelona i l'aeroport del Prat. Si bé l'objectiu d'aquests plans és la reducció dels contaminants locals (NO_x , NO_2 i PM_{10}), les mesures plantejades també tenen un efecte clar en la reducció dels GEH. Bàsicament, es planteja la potenciació del transport públic amb mesures de prioritització, el foment de l'electromobilitat, la classificació ambiental, l'incentiu de vehicles nets (l'etiquetatge ambiental), la millora del parc automobilístic, la millora de la xarxa de bicicletes, la regulació de la velocitat amb una consciència ambiental, la conscienciació ciutadana, els cursos de conducció eficient, la millora de la tecnologia del parc vehicular auxiliar dels ports i els aeroports i l'increment de la inspecció.

Així mateix, Europa, Espanya i Catalunya han inclòs als plans de foment de la R+D+I programes específics per a fomentar una mobilitat sostenible i demostrar la viabilitat tècnica i econòmica de noves tecnologies de transport que tinguin un impacte més petit en el canvi climàtic. Concretament, la Unió Europea ha creat la convocatòria H2020, en la qual una de les tres línies d'actuació del sector del transport (amb més de 6.000 milions d'euros de pressupost) és el foment dels vehicles respectuosos amb el medi ambient (*green vehicles*).

19.4. El transport i el canvi climàtic a Catalunya

Catalunya presenta dues zones diferenciades en matèria de mobilitat i d'efectes generats al medi ambient. D'una banda, l'àrea metropolitana de Barcelona (amb 36 municipis que representen el 2 % de l'extensió del territori català però el 43 % de la població), on es concentren la major part dels desplaçaments i, consegüentment, una problemàtica creixent en matèria d'emissions de GEH i de contaminants locals. La major part dels municipis d'aquesta àrea han estat declarats zona de protecció especial de l'ambient atmosfèric. D'altra banda, a la resta del territori català la mobilitat s'articula a l'entorn dels assentaments urbans i les vies de comunicació principals, però sense grans complicacions pel que fa a la congestió i a l'impacte d'emissions contaminants.

19.4.1. Àmbit interurbà

El sector de la carretera presenta una reducció de la productivitat dels viatges i una reducció de les matriculacions a causa de la crisi econòmica, cosa que ha comportat un envelliment del parc mòbil i, consegüentment, un retard en la substitució per vehicles més nets (figura 19.1). De fet, el 38 % del parc mòbil és constituït per vehicles matriculats abans del 2003 (Ajuntament de Barcelona, 2014).

La taula 19.2, la taula 19.3 i la taula 19.4 mostren una estimació del consum de carburant, de les emissions i dels viatges duts a terme a la xarxa de carreteres de Catalunya el 2010 i el 2013 (pre-

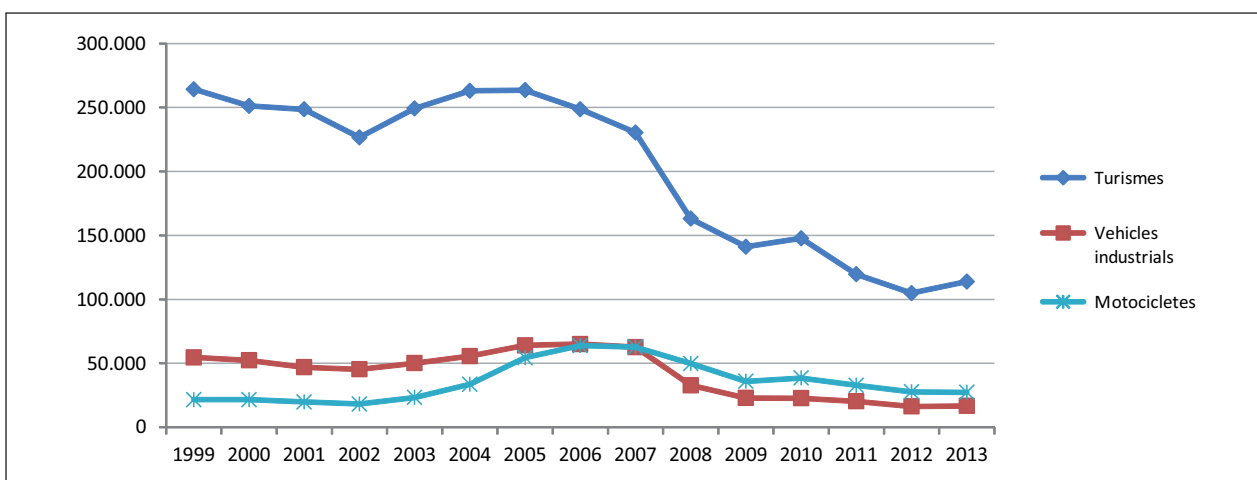


FIGURA 19.1. Matriculacions del parc mòbil a Catalunya.

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'Idescat (2014).

sentats en aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA, TICCC) en comparació dels registres de l'any 2005 (recollits al SICCC). Es constata que l'any 2010 la mobilitat de vehicles a la carretera es va incrementar en un 18 % (vehicles/km) respecte de l'any de referència, el 2005. Tanmateix, la mateixa dada valorada l'any 2013 només representa un creixement del 3 % respecte del 2005, de manera que en el període 2010-2013 la quantitat de vehicles/km es va reduir en un 12 % i, per tant, es van revertir alguns dels problemes de congestió i de pèrdua de velocitat a la xarxa. En conseqüència, l'any 2013 el consum de carburant a la xarxa de carreteres interurbanes de Catalunya es va reduir en un 6 % respecte de l'any de referència, el 2005, i els GEH van presentar una

reducció de prop del 20 % (N_2O , CO_2 i CH_4). Els gasos contaminants d'efecte local van mostrar una reducció variable, en la qual destaca la disminució de partícules i d'òxids de nitrogen de prop del 13 % i del 14 %, respectivament.

En la taula 19.3 es pot observar que els estalvis d'emissions han estat superiors al creixement negatiu dels indicadors de mobilitat i, per tant, es percep un efecte clar de la reducció dels factors d'emissió i de consum del parc mòbil. Aquesta tendència podria haver estat més important si la renovació del parc mòbil no s'hagués estancat.

En el cas de les mercaderies per carretera, els camions que recorren rutes de llarga distància han

TAULA 19.2. Estimació del consum de carburant dels viatges en vehicle privat per als anys 2005, 2010 i 2013

	Any 2005 (SICCC)	Any 2010 (TICCC)	Variació 2005-2010	Any 2013 (TICCC)	Variació 2005-2013
Consum (litres)	3.529.474.663	3.803.143.417	8 %	3.316.570.664	-6 %

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la Generalitat de Catalunya (2005, 2010 i 2013) i de l'EEA (2007, 2009 i 2013).

TAULA 19.3. Estimació de les emissions dels viatges en vehicle privat per als anys 2005, 2010 i 2013

Emissions (kg)	Any 2005 (SICCC)	Any 2010 (TICCC)	Variació 2005-2010	Any 2013 (TICCC)	Variació 2005-2013
NO_x	57.515.997	60.544.938	5 %	49.394.650	-14 %
CO	151.089.164	156.941.337	4 %	128.282.223	-15 %
VOC	27.298.497	29.778.526	9 %	24.667.457	-10 %
SO_2	1.439.904	1.468.037	2 %	1.207.328	-16 %
PM	3.794.675	4.124.327	9 %	3.320.968	-12 %
NH_3	893.845	361.382	-60 %	67.534	-92 %
N_2O	390.186	370.495	-5 %	297.132	-24 %
CH_4	1.424.153	1.454.676	2 %	1.164.655	-18 %
CO_2	13.746.589.764	13.178.749.343	-4 %	11.179.931.327	-19 %

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la Generalitat de Catalunya (2005, 2010 i 2013) i de l'EEA (2007, 2009 i 2013).

TAULA 19.4. Estimació dels viatges en vehicle privat per als anys 2005, 2010 i 2013

Viatges en vehicle privat	Any 2005 (SICCC)	Any 2010 (TICCC)	Variació 2005-2010	Any 2013 (TICCC)	Variació 2005-2013
Interurbà + urbà (milions vehicles $km^{-1} any^{-1}$)	37.640	44.301	18 %	38.837	3 %
Interurbà (sense peatge) (milions vehicles $km^{-1} any^{-1}$)	14.964	17.613	18 %	15.440	3 %

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de la Generalitat de Catalunya (2005, 2010 i 2013) i de l'EEA (2007, 2009 i 2013).

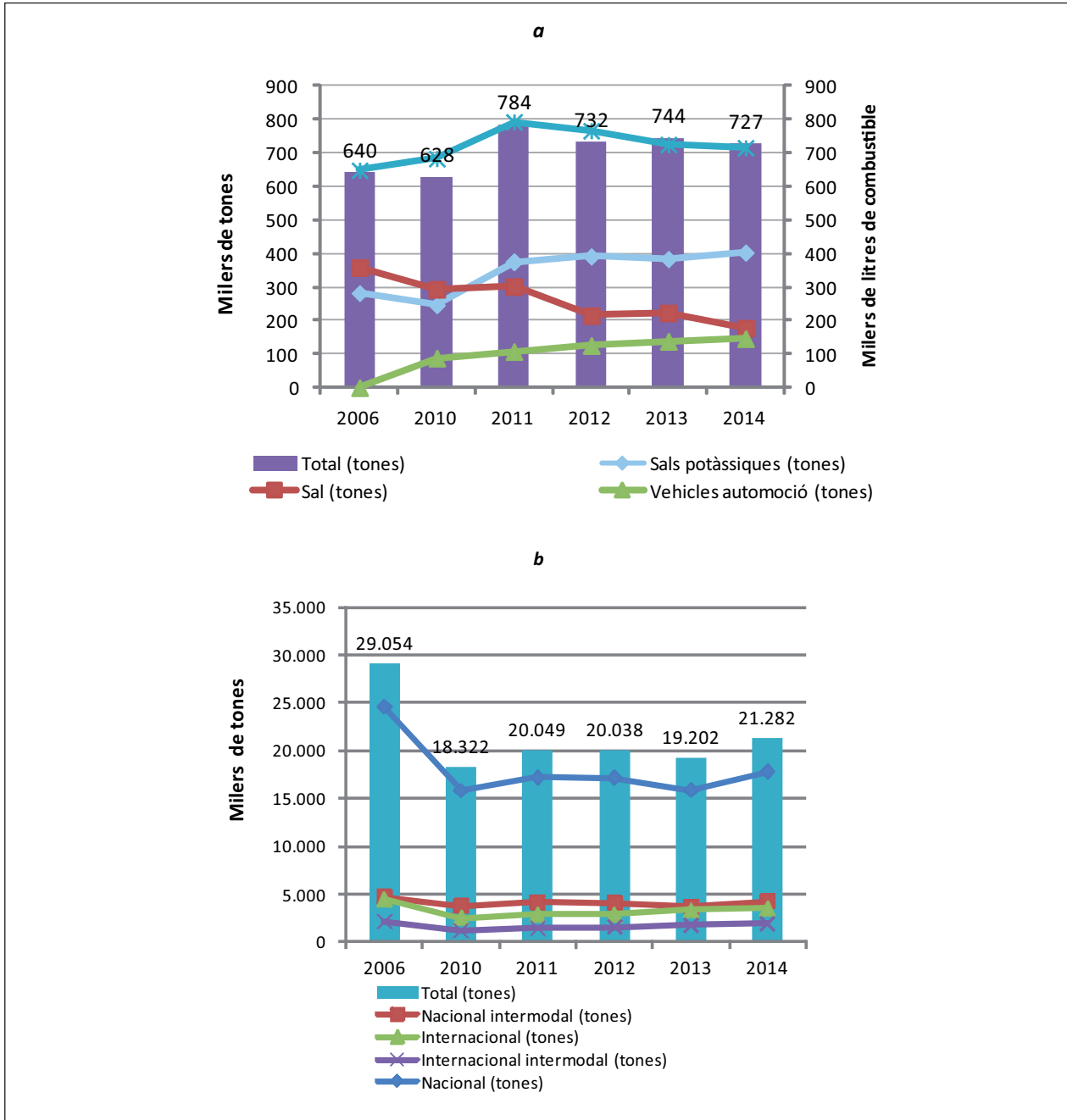


FIGURA 19.2. Indicadors de trànsit: a) en les línies de ferrocarril de mercaderies d'àmbit català (FGC), i b) en les línies estatals operades per Renfe Operadora.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de FGC (2015), FGC (2008) i Ministeri de Foment (2015).

presentat una millora significativa en la reducció de les emissions els últims vint anys i han arribat a l'etiquetatge Euro VI amb uns nivells inferiors als del decenni del 1980. No obstant això, les millores dels motors dièsel d'aquests vehicles seran marginals en el futur. En aquest sentit, existeixen iniciatives i projectes pilot per a l'electrificació de les vies d'alta capacitat en l'àmbit europeu, en les quals el carril de vehicles lents (el dret) té ca-

tenària² o tecnologia d'inducció perquè durant la circulació al llarg de la infraestructura es pugui utilitzar un motor elèctric (un resum dels estudis, les proves pilot i les anàlisis econòmiques es pot consultar a Mercadal, 2011).

2. N'és un exemple el projecte eHighway, de Siemens (<http://w3.siemens.com/topics/global/en/electromobility/pages/ehighway.aspx>).

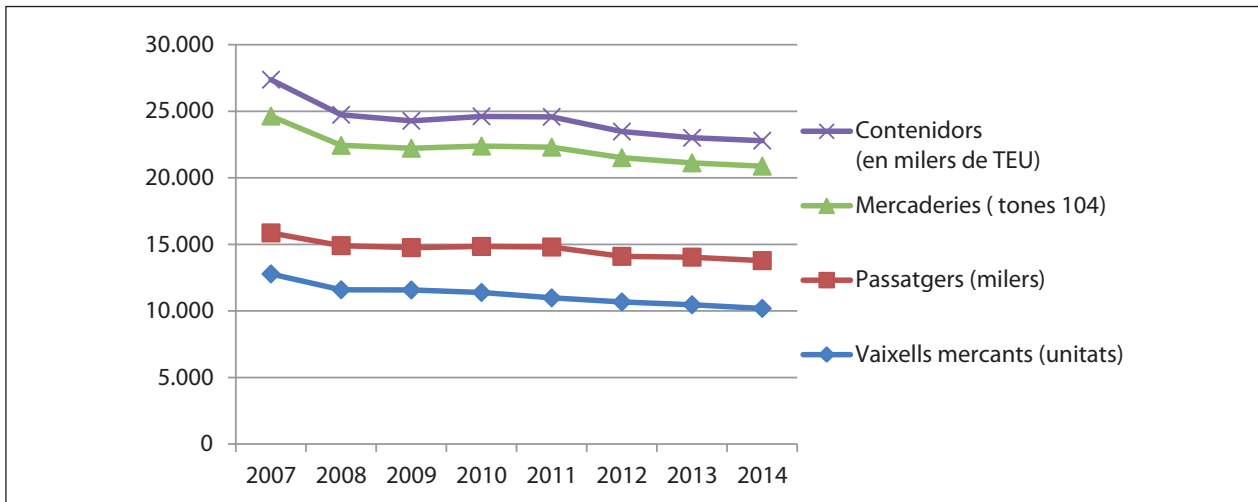


FIGURA 19.3. Mobilitat als ports comercials catalans.

Font: Elaboració pròpia a partir de dades de l'Idescat (2015).

Pel que fa al transport ferroviari, els fluxos de mercaderies han experimentat una reducció en el període 2006-2010 a causa de la crisi econòmica. Aquesta reducció ha estat més significativa a les línies de l'Administrador d'Infraestructures Ferroviàries (ADIF) que a les gestionades per Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC). No obstant això, l'evolució en el període 2010-2014 ha presentat una contenció de la mobilitat. Solament destaca un creixement sostingut del trànsit en el transport de vehicles i de sals potàssiques a la xarxa de FGC. El factor d'èxit es relaciona amb l'establiment de polítiques comercials i d'aliances especialitzades per als clients amb serveis *ad hoc* i adaptats a la mercaderia mobilitzada. És el cas de FGC, que ha aconseguit que la mobilitat de les mercaderies del tren l'any 2014 hagi superat els valors previs a la crisi econòmica. No obstant això, en el cas de Renfe Operadora, amb més diversitat de clients, l'any 2014 els fluxos no van arribar a igualar l'escenari del 2006, previ a la crisi, tant pel que fa a les rutes nacionals com als corredors internacionals. La política europea ha intentat potenciar l'establiment de corredors ferroviaris transeuropeus que intentin atreure trànsit del transport per carretera. El corredor ferroviari mediterrani (RFC-6) és el que té més extensió, amb un recorregut que va des del sud d'Espanya fins a Hongria, que arriba a Finlàndia amb ramificacions i que cobreix els ports principals de la conca mediterrània. Tot i que va esdevenir operatiu l'any 2013 i que l'any 2014 ja hi havia vuit operadors interessats en l'explotació, el trànsit observat en aquesta infraestructura encara

és mínim. Cal emfatitzar que el volum de mercaderies mobilitzades per Renfe Operadora entre Espanya i l'estranger és cent cops inferior al mobilitzat pel sector marítim als ports catalans (figura 19.2 i figura 19.3). Les diferències tecnològiques i de regulacions d'entrada al sector ferroviari han impedit la potenciació d'aquest mitjà de transport entre Espanya i Europa.

19.4.2. Àmbit metropolità i urbà

Les polítiques d'increment de l'oferta del TPC durant el període 2005-2010 en l'àmbit metropolità avançades al SICCC no han aconseguit augmentar la quota de mercat significativament. En el cas del tren de rodalia, fins i tot hi ha hagut una pèrdua de viatges (taula 19.5).

La crisi ha comportat una reducció dels viatges i ha potenciat d'una manera natural els mitjans no motoritzats i els més barats (com, per exemple, la substitució del cotxe per la motocicleta). Pel que fa a les emissions urbanes per la mobilitat quotidiana, es pot dir que la crisi ha comportat un increment dels nivells de sostenibilitat.

Així mateix, aquesta tendència d'increment de l'oferta del TPC s'ha paralytitzat a partir de l'any 2010 a causa del problema del finançament. Si l'any 2005 la quota de cobertura³ era del 50 %

3. L'expressió *quota de cobertura* fa referència al percentatge dels costos d'inversió i operacionals del servei de TPC compensats amb els ingressos per la venda de títols de transport a usuaris directes.

TAULA 19.5. Desplaçaments totals en dies feiners

Desplaçaments totals en dies feiners (en viatges / dia)							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
A peu	7.048.418	7.265.591	7.210.315	7.915.751	7.715.497	7.717.399	7.776.000
En bicicleta	130.438	158.408	163.580	172.938	193.012	193.897	206.000
En transport públic	2.912.229	3.036.695	3.103.035	3.109.294	2.956.000	2.962.757	2.935.000
En autobús	1.132.427	1.120.933	1.124.684	1.103.708	1.049.293	1.021.692	1.049.542
En tramvia	57.161	61.528	63.538	64.412	61.237	61.377	77.297
En metro	1.076.952	1.159.221	1.197.093	1.213.573	1.233.742	1.236.562	1.218.160
En tren	645.689	695.014	717.720	727.600	611.728	643.127	590.001
En vehicle privat	5.856.126	6.191.763	5.679.599	5.770.458	5.667.521	5.657.978	5.415.000
En tots els mitjans	15.947.211	16.652.019	16.156.075	16.967.982	16.532.030	16.532.030	16.329.000

Font: ATM (2015).

(ATM, 2005), l'any 2012 aquest valor ha estat aproximadament del 40 % (ATM, 2013).

La potenciació del TPC per a atreure viatges del vehicle privat és ineficaç sense una política d'aparcament d'enllaç (*park-and-ride*, en l'àmbit interurbà) i sense restriccions d'ús i/o de tarifació pel que fa al vehicle privat i a l'aparcament (en l'àmbit urbà).

No obstant això, ha estat en la mobilitat urbana que s'han fet palesos els avenços més importants en matèria de millora dels factors d'emissió dels vehicles, especialment els associats a les flotes públiques. A totes les ciutats amb concentracions grans de població s'han desenvolupat serveis públics de lloguer de bicicletes (en alguns casos amb motor elèctric d'assistència) i s'han potenciat zones de pacificació del trànsit als barris més residencials. Així mateix, en el cas de Barcelona s'ha fomentat l'ús de l'electromobilitat en taxis i autobusos. A final de l'any 2014 ja hi havia 18 taxis completament elèctrics i 2.150 d'híbrids (CENIT, 2014).

En el cas dels autobusos, existeixen diversos models comercials de 12 m que permeten una operació continuada durant tot el servei. No obstant això, el repte principal són els vehicles de 18 m, que necessiten operacions de recàrrega al carrer per a prestar el servei. Barcelona incorporarà dos vehicles a final d'octubre d'enguany per a analitzar-ne les prestacions en una prova pilot del projecte europeu

«Sistema d'autobusos urbans d'emissions zero» (Ze-EUS). D'aquesta manera, la potenciació dels serveis de taxis i d'autobusos de grans dimensions haurà d'anar acompanyada de la distribució al territori de prou estacions de recàrrega, per a les quals caldrà estudiar detalladament la disciplina i el temps de recàrrega dels diferents usuaris potencials.

En el cas de la distribució urbana de mercaderies, es potencia l'ús de microplataformes de consolidació de mercaderies als centres urbans. Els operadors logístics tradicionals porten mercaderies a aquestes infraestructures perquè siguin distribuïdes per un altre operador als comerços o als habitatges amb vehicles de menys impacte ambiental (com ara els vehicles elèctrics o els tricicles assistits amb motor elèctric). El benefici social d'aquestes mesures s'ha demostrat en diverses proves pilot (com ara el projecte SMILE, <http://smile-urbanlogistics.eu>). No obstant això, el model de negoci de l'operador de l'última milla amb vehicles nets encara no és sòlid i depèn de les subvencions de l'Administració.

19.4.3. Ports

La mobilitat als ports de Barcelona i de Tarragona també ha manifestat una tendència a la baixa pel que fa al nombre de moviments, tant de mercaderies com de passatgers (figura 19.3). En aquest mitjà de transport, la qüestió principal relativa a la productivitat de vehicles/km ha es-

tat l'increment de la grandària dels vaixells per a potenciar les economies d'escala i reduir els costos del transport des de principi del segle XXI. Aquest fet ha comportat la construcció de vaixells post-Panamax (un model de vaixells amb capacitat per a més de 5.000 TEU⁴) per a cobrir les rutes marítimes amb calendari fix entre Àsia i Europa. Tanmateix, la crisi econòmica de final del decenni anterior ha fet que aquestes rutes no tinguin prou demanda per a cobrir la capacitat d'aquests vaixells i, per tant, que l'increment de la grandària dels vaixells s'hagi paralitzat. En segon lloc, també s'han intentat potenciar les rutes de curta i mitjana distància (*short sea shipping*) pel que fa a les cadenes logístiques a Europa. No obstant això, la competitivitat i la freqüència alta dels serveis de carretera (encara pocs països de la Unió Europea apliquen taxes a les externalitats del sector per mitjà de l'eurovinjeta) comporten que els serveis marítics de curta distància principalment tinguin èxit en l'exportació de vehicles i de matèries primeres als ports catalans.

Amb relació als factors de consum i d'emissions, la diversitat del tipus i de la grandària dels vaixells fa molt difícil una millora dels motors de propulsió, de manera que encara existeix una dependència dels motors dièsel. Això és especialment important pels efectes de les emissions locals de NO_x, de partícules i d'ozó als ports catalans, en els quals hi ha una gran convivència i proximitat amb els assentaments urbans. En aquest sentit, el Reglament (UE) 2015/757 del Parlament Europeu i del Consell, del 29 d'abril del 2015, obligarà, en el futur, a fer el seguiment, la notificació i la verificació de les emissions de diòxid de carboni a tots els vaixells amb arqueig superior a les 5.000 tones en les etapes de desplaçament amb origen o destinació a un port de la Unió Europea.

D'altra banda, hi ha diversos projectes europeus (com ara el *CORE LNGas hive*) que intenten reduir l'impacte del sector en les emissions locals mitjançant la substitució de l'ús del dièsel pel gas

4. La unitat TEU prové de la siglació de *twenty-foot equivalent unit* i és una unitat de capacitat per al transport de mercaderies equivalent a un contenidor estàndard de 6,096 m de llargària, 2,438 m d'amplària i 2,591 m d'alçària, amb un volum interior de 32,8 m³ i un pes de càrrega màxima de 30.480 kg.

natural quan els vaixells estan atracats als ports i l'automatització i l'electrificació dels vehicles auxiliars de transport i de càrrega de mercaderies dins dels ports (grues pòrtic i carretons pòrtic).

A partir de les 682.862 tones de carburant dièsel subministrades als vaixells del port de Barcelona l'any 2013 (Ministerio, 2014), es poden estimar les emissions de gasos contaminants i de GEH, com mostra la taula 19.6.

19.4.4. Aeroports

El sector aeri tampoc no ha estat deslligat de la crisi econòmica, ja que presenta una reducció del nombre de moviments d'aeronaus des del 2008, com mostra la figura 19.4. No obstant això, el nombre de passatgers ha anat augmentant des del 2008, mentre que el transport de mercaderies s'ha mantingut estable (Idescat, 2015).

Aquestes tendències són conseqüència d'una racionalització del servei de les companyies aèries que busquen l'increment de l'ocupació i l'eliminació de les rutes que tinguin molta competència amb altres mitjans, especialment el ferroviari a curta i a mitjana distància. En aquest cas, l'aeroport de Barcelona ha desenvolupat una política de potenciació de les operacions com a aeroport de connexió (*hub*), amb l'establiment de rutes de més distància des de Barcelona (i de més capacitat).

TAULA 19.6. Estimació de les emissions associades a 682.862 tones de productes petrolers subministrats als vaixells del port de Barcelona l'any 2013

Gasos contaminants i GEH	Tones*
NO _x	49.166,1
CO	5.053,2
VOC	1.638,9
SO ₂	6.828,6
PM	2.253,4
NH ₃	—
N ₂ O	54,6
CH ₄	34,1
CO ₂	2.164.672,5

* Estimació mitjançant la metodologia simplificada de l'EEA (2007), com a producte del total de tones de carburant servides als vaixells per un factor de consum agregat de tots els vaixells.

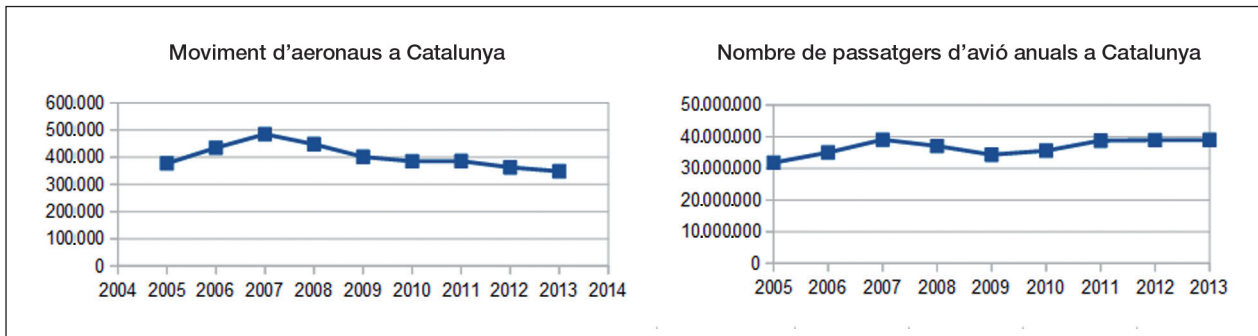


FIGURA 19.4. Mobilitat als aeroports de Catalunya.

Font: Idescat (2015).

Amb relació a la millora dels factors d'emissió i de consum de les aeronaus, són molt condicionats per les proves d'homologació i de seguretat de l'Associació Internacional del Transport Aeri (IATA). Tanmateix, en aquest mitjà de transport la innovació ha estat més significativa que en el ferroviari i actualment les empreses de producció d'aeronaus (com ara Boeing i Airbus) desenvolupen aeronaus de més eficiència energètica especialment per a cobrir rutes de llarga distància amb vehicles de gran capacitat. De fet, actualment també es gesta l'aplicació d'un mecanisme de regulació dels drets d'emissió de GEH del sector als vols intracomunitaris de la Unió Europea per a l'any 2020. D'altra banda, aquesta millora no s'ha produït en el camp dels serveis de terra, ja que els vehicles auxiliars dels aeroports (com ara els vehicles per al transport d'equipatge, els autobusos per al transport de persones, els vehicles per al subministrament de carburant o els vehicles per al posicionament de rampes) encara utilitzen majorment motors tèrmics de tecnologia superada.

19.5. Conclusions

El darrer quinquenni s'ha caracteritzat per una davallada de l'activitat econòmica i de retruc de la mobilitat de persones i de mercaderies en mitjans mecanitzats, cosa que ha provocat una reducció de la contribució del transport per carretera al canvi climàtic d'un 20 % respecte de l'any 2005 i un canvi de tendència pel que fa als increments dels mateixos efectes de l'any 2010, segons els valors de la taula 19.3. No obstant això, els motius d'aquest canvi són eminentment conjunturals, i és necessari fomentar un canvi de les tecnologies de mobilitat i dels models d'ús dels serveis de mobilitat en el present, ja que tots els indicadors presenten una

recuperació i una pujada del nombre de viatges i de la producció de quilometratge dels vehicles. Els fenòmens de congestió i de concentració de viatges en hora punta també s'han reduït per l'atur i la flexibilització més gran de la jornada de treball, fet que té un impacte positiu en la mitigació del canvi climàtic. Aquesta tendència de contenció de la mobilitat també s'ha produït en el transport marítim i, en menys grau, en el transport aeri.

En el cas de les ciutats, els PMU i els plans de control de la qualitat de l'aire potencien l'ús de mitjans de transport no motoritzat, de mesures de prioritització dels mitjans de transport col·lectiu i d'un transport de mercaderies més sostenible, els quals contribueixen activament a la mitigació del canvi climàtic.

Tanmateix, les mesures de promoció del TPC a les grans ciutats no han aconseguit atreure uns nivells de demanda significatius del transport privat, que encara gaudeix de la inexistència d'un marc de penalització econòmica o de restriccions d'ús. Aquest fet, conjuntament amb la reducció de la capacitat de l'espai urbà, comportarà que quan l'activitat econòmica augmenti de nou es tornin a repetir els impactes creixents en el canvi climàtic del transport a les ciutats. El fenomen de l'electromobilitat només s'ha constatat realment a les flotes públiques i la discriminació positiva en matèria d'incentius fiscals no ha estat eficient.

Aquests incentius fiscals en matèria d'etiquetatge ecològic dels vehicles són adequats quan el vehicle és híbrid o completament elèctric. No obstant això, els efectes esperats de la millora dels factors d'emissió dels motors tèrmics s'han sobredimensionat a causa dels errors inherents als models es-

timatius d'emissions. S'ha demostrat que la regulació màxima d'emissions de gasos contaminants d'efecte local, especialment en el cas dels vehicles de motor dièsel de les categories Euro V i Euro VI, és molt inferior a l'emissió real en condicions de circulació urbana.

Així mateix, les operacions d'aturar i engegar (*stop & go*) en circulació urbana no s'han inclòs als models predictius i també són una font d'error (les emissions i els consums són superiors a causa d'aquestes aturades excepte en els vehicles nous que aturen el motor, que representen un percentatge encara mínim del parc vehicular). Tot i l'estalvi d'energia teòric de l'aturada del motor, el consum i la generació d'emissions més significatius es produeixen en la fase d'acceleració del vehicle de velocitat zero a velocitat de creuer.

Per tant, en primer lloc és necessari poder mesurar adequadament els impactes associats al canvi climàtic del transport, especialment en zones urbanes. En segon lloc, cal potenciar l'ús de vehicles i de tecnologies més respectuoses amb el medi ambient a la vegada que s'apliquen mesures coercitives, tarifadores i reguladores del vehicle privat a fi de garantir un transvasament modal real a mitjans de transport amb més capacitat vehicular o amb menys generació d'emissions.

19.6. Recomanacions

En vista dels resultats de l'anàlisi per sectors de transport anterior, es proposen les recomanacions següents:

Pel que fa a l'àmbit interurbà

- La creació d'una oferta de serveis de TPC d'autobús integrada en l'àmbit interurbà i urbà, amb una planificació real de punts d'aparcament d'enllaç amb prou capacitat per a l'arribada a les estacions de TPC des de punts de demanda dispersa.
- El manteniment dels serveis de TPC ferroviaris, amb una millora especial de la fiabilitat del servei i de la puntualitat i amb un increment de les places d'aparcament d'enllaç a les estacions i de les tarifes integrades.
- La bonificació dels peatges per a vehicles elèctrics i d'alta ocupació a les autopistes de

pagament de les administracions i d'empreses gestores privades.

- L'aplicació real de l'eurovinyeta per a la tarifació del trànsit de mercaderies per carretera per motius ambientals a curt termini (i, a mitjà termini, per a tots els vehicles pesants i lleugers que facin servir la xarxa d'altres prestacions seguint els principis europeus de «pagament per ús» i «qui contamina, paga»).
- El desenvolupament de proves pilot d'electrificació de carrils lents per a camions elèctrics als corredors logístics principals.

Pel que fa a l'àmbit metropolitana i urbà

- L'incentiu econòmic de la substitució de la flota vehicular per vehicles amb motor tèrmic d'etiqueta ambiental superior i per vehicles híbrids i elèctrics, especialment en flotes públiques o d'empreses.
- La restricció i la regulació de l'accés dels vehicles amb més impacte (amb prohibició i/o pagament de tarifa), mitjançant taules de diàleg i consens amb els actors implicats. A París ja es parla de la prohibició de l'entrada de vehicles de motor dièsel a la ciutat i a Londres s'ha previst un pla de substitució de tots els taxis de la ciutat per vehicles elèctrics amb vista al 2017.
- El desenvolupament de mesures de gestió ambiental del trànsit a l'accés a les ciutats principals (com ara la velocitat variable o els carrils d'alta ocupació sense grans inversions en infraestructures) i d'una política tarifària d'aparcament a les ciutats.
- La creació d'una infraestructura segura per a mitjans de transport no motoritzats dins dels municipis i principalment entre els municipis adjacents i els llocs de treball situats a la perifèria (com ara als polígons industrials).
- L'adopció de mesures de prioritat de pas en el cas del transport públic de superfície per a fer-lo més competitiu respecte del vehicle privat (com ara la coordinació semafòrica o la restricció d'aparcament al voltant de les parades).
- La potenciació de la motocicleta elèctrica mitjançant ajudes públiques per a la substitució de les motocicletes de motor tèrmic i el foment de la R+D+I per al desenvolupament d'aquest tipus de vehicles en empreses nacionals. A les ciutats principals de la Xina un percentat-

ge molt significatiu de les motocicletes ja són elèctriques.

- La restricció d'espai viari al vehicle privat per mitjà de la creació de vies de circulació amb prou capacitat per al trànsit de pas.

Pel que fa als ports i els aeroports

- La potenciació de l'ús d'altres fonts d'energia (com ara el gas i l'electricitat) quan els vaixells es troben atracats al port.
- La substitució activa dels vehicles auxiliars amb motor tèrmic per vehicles elèctrics en aeroports i ports.
- La millora de la qualitat i del procés de refinament del combustible utilitzat pels vaixells.
- L'incentiu de l'eficiència (energètica i ambiental) per a canviar el model de mobilitat actual i la penalització de la ineficiència.

Referències bibliogràfiques

- AJUNTAMENT DE BARCELONA (2014). *Anuari estadístic de la ciutat de Barcelona 2014: Transports i circulació* [en línia]. <<http://www.bcn.cat/estadistica/catala/dades/anuari/cap15/C1509030.htm>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- ATM = AUTORITAT DEL TRANSPORT METROPOLITÀ (2006). *Memòria d'activitats*. Barcelona: Autoritat del Transport Metropolità.
- (2013). *Memòria d'activitats*. Barcelona: Autoritat del Transport Metropolità.
- (2015). *Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona*. Barcelona: Autoritat del Transport Metropolità.
- CENIT = CENTRE D'INNOVACIÓ DEL TRANSPORT (2014). *Observatori del taxi*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- ERMES = EUROPEAN RESEARCH GROUP ON MOBILE EMISSION SOURCES (2015). *Diesel light duty vehicle NO_x emission factors: Information paper* [en línia]. <<http://www.ermes-group.eu/web>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2007). Technical report núm. 16/2007, *EMEP/CORINAIR Emission inventory guidebook - 2007* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP-CORINAIR5>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- (2009). Technical report núm. 9/2009, *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2009* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- (2013). Technical report núm. 12/20013, *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2013* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- FGC = FERROCARRILS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA (2008). *Memòria anual 2007*. Barcelona: Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.
- (2015). *Memòria anual 2014*. Barcelona: Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya.
- IDESCAT = INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (2014). *Anuari estadístic de Catalunya: Transports i TIC* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=10>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- (2015). *Anuari estadístic de Catalunya: Transports i TIC* [en línia]. <<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=10>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- LLEBOT, J. E. (ed.) (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans.
- MERCADAL, A. (2011). *Vehicles alimentats en marxa (VAM): anàlisi de la viabilitat tècnica i econòmica*. Tesi (grau). Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- MINISTERIO DE FOMENTO DE ESPAÑA (2015). *Boletín estadístico online 2014* [en línia]. Madrid: Ministerio de Fomento de España. <<http://www.fomento.gob.es/BE/?nivel=2&orden=07000000>> [Consulta: 4 febrer 2016].
- PUERTOS DEL ESTADO (2014). *Sistema portuario de titularidad estatal. Anuario estadístico 2014*. Madrid: Gobierno de España. Ministerio de Fomento.

20 Territori i espai urbà

Autors

Xavier Mayor Farguell

Júlia Barba Miralpeix

Clara Montaner Augé

Xavier Mayor Farguell és doctor en biologia. Ha estat investigador del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF) de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i també tècnic del Servei de Planificació de l'Entorn Natural al Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Des de l'any 1999 dirigeix un estudi professional (Estudi Xavier Mayor *et al.*, SL) especialitzat en l'ecologia aplicada a l'urbanisme i al territori, així com a la sostenibilitat. Ha desenvolupat una profusa activitat com a docent especialista en màsters, postgraus i altres cursos especialitzats, així com ponències, conferències, publicacions científiques, tècniques i també d'opinió especialitzada en els mitjans de comunicació. Actualment és vicepresident de la Societat Catalana d'Ordenació del Territori (Institut d'Estudis Catalans) i membre del Consell de Protecció de la Natura de Catalunya.

Júlia Barba Miralpeix és llicenciada en ciències ambientals per la Universitat Autònoma de Barcelona i diplomada en el postgrau d'anàlisi i intervenció social i ambiental per la Universitat de Barcelona i

la Universitat de Autònoma de Barcelona. Va fer el projecte de final de carrera sobre el canvi ambiental global al Montseny (Institut de Ciència i Tecnologia Ambiental de la UAB). S'incorporà a l'equip tècnic de l'Estudi Xavier Mayor *et al.* l'any 2004, on col·labora com a coordinadora d'estudis i responsable dels treballs d'avaluació ambiental de plans i programes i de tècnica en SIG.

Clara Montaner Augé és llicenciada en ciències ambientals per la Universitat de Barcelona i màster en planificació urbana i sostenibilitat per la Universitat Politècnica de Catalunya. Va fer el projecte de final de carrera sobre espècies de plantes mediterrànies potencialment adequades per a sostres verds a la Facultat d'Enginyeria Ambiental de la Universitat Catòlica de Lovaina, Bèlgica. Ha col·laborat a l'Estudi Xavier Mayor *et al.* com a tècnica ambientòloga en els períodes des de setembre del 2013 fins a l'octubre de 2014, i des de setembre del 2015 fins ara. Alternativament, s'ha dedicat a l'educació ambiental en museus i centres docents.

Sumari

Síntesi	483
20.1. Introducció	484
20.2. Territori: una nova aproximació	484
20.2.1. Espais oberts.....	485
20.2.2. Espais protegits	487
20.2.3. Determinacions en la planificació territorial	489
20.2.4. Plans territorials parcials i sectorials	490
20.3. Espai urbà: una nova aproximació	490
20.3.1. Planificació i disseny de l'espai urbà.....	491
20.3.2. Determinacions en la planificació urbana.....	493
20.3.3. Edificació i usos residencials: evolució i estat actual	498
20.4. Conclusions	502
20.5. Recomanacions	503
Referències bibliogràfiques.....	504

Síntesi

Aquest capítol té per objectiu principal situar i actualitzar el valor del territori i dels espais urbans i la relació que tenen en el context actual de canvi climàtic.

S'hi planteja l'escenari conceptual més actual, també en relació amb el canvi climàtic, respecte al qual cal desenvolupar les polítiques i accions a nivell territorial i d'espais urbans amb vista als propers anys.

Durant el darrer decenni, a Catalunya s'ha desenvolupat una profusa activitat de planificació territorial com no s'havia fet mai, i també una important planificació urbanística. Totes dues han tingut com a instrument ben innovador l'avaluació ambiental estratègica, la qual ha tingut en compte, per primera vegada i amb força, els aspectes ambientals i de sostenibilitat en els processos de redacció que es corresponen amb aquesta planificació. Així, el capítol els dedica sengles apartats (territori i es-

pais urbans), els quals plantegen i condicionen, en essència, els futurs territorial i urbà immediats. Els apartats recullen l'aplicació dels instruments de planificació que s'ha dut a terme fins al moment, i ho fan específicament en relació amb les consideracions i les determinacions pel que fa a l'adaptació i a la mitigació que plantegen en relació amb el canvi climàtic.

A escala urbana, tot i que en els darrers anys s'han introduït aspectes en relació amb els fluxos d'energia i de matèria (més vinculats a l'edificació i l'habitatge), recentment s'han introduït altres aspectes a escala ambiental i de sostenibilitat, els quals van des de les estratègies urbanes, els models i els dissenys (urbans i d'edificis) fins a les concrecions materials que s'hi corresponen.

Paraules clau

biocapacitat, planificació territorial i urbanística, disseny ecològic de l'espai urbà, avaluació ambiental estratègica, edificació sostenible, petjada ecològica

20.1. Introducció

El territori i la població que hi viu i en viu són els principals receptors de les conseqüències del canvi climàtic. Encara que puguem analitzar les conseqüències de manera sectorial, el territori és l'àmbit que les rep i les integra. Ho és, essencialment, perquè és el que acull les espècies (incloent-hi la nostra), on desenvolupen el cicle vital i on s'organitzen en ecosistemes, segons quines siguin les condicions ambientals, els recursos disponibles i les interaccions que poden dur a terme. És per la presència que tenen que pren sentit observar i decidir sobre allò que afecta el canvi climàtic. Un planeta o un territori sense biosfera no seria objecte de tant interès, més enllà d'allò merament físic.

Les conseqüències del canvi climàtic són biològiques en essència i, per això, el concepte de *biocapacitat del territori* és important a l'hora d'aproximar-se a les capacitats i limitacions que té, especialment, si el valorem en el context d'una pertorbació de tipus global amb efectes biòtics com ho és el canvi climàtic. La biocapacitat és la capacitat de regeneració de la natura: és una mesura de les superfícies de terra i del mar biològicament productius disponibles per a proporcionar recursos renovables i serveis ecològics, com ara absorbir les emissions de CO₂ generades pels humans.

És paradoxal que el canvi climàtic sigui, sobretot, el fruit obtingut a causa de determinades accions de la nostra espècie en relació amb el medi durant els darrers decennis, fet que afecta de manera rellevant les condicions ambientals del planeta. Efectivament, hem interactuat amb el territori d'una manera determinada, la qual es podia haver evitat. L'hem tractada sense respecte ni saviesa, com si es tractés d'un rebost inacabable, fet que ha empitjorat quan, especialment en els darrers decennis, el coneixement era ja suficient per a canviar les nostres accions en conseqüència.

Els canvis en les condicions ambientals no han estat qualssevol, sinó que han afectat el clima i, per tant, unes condicions ambientals que tenen una relació ben estreta amb les espècies, la dinàmica, el cicle reproductiu, les adaptacions, els hàbitats que formen, els ecosistemes, etcètera.

En aquest TERCER INFORME SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A CATALUNYA apareix molta informació de caire temàtic i sectorial que té en compte, en el rerefons, certes parts del territori: espais agrícoles, zones de muntanya, boscos, litoral, etc., els quals es desenvolupen des del coneixement particular de cada especialitat segons com els condiciona el canvi climàtic i, també, sobre quines conseqüències té el canvi climàtic en cada tema sectorial o específic i què es pot aportar des de cadascun d'ells en termes de mitigació i/o adaptació.

L'esperit d'aquest capítol és el de posar les bases per tal que d'ara endavant els diferents informes sobre el canvi climàtic a Catalunya que es duguin a terme tinguin com a referència el territori i els espais urbans com a receptors dels efectes del canvi climàtic de manera integrada i que en desenvolupin convenientment el contingut, aportin les dades que ara ens manquen i serveixin per a explicar l'evolució de la incorporació de certes determinacions en relació amb el canvi climàtic en els diferents instruments de decisió territorial des d'aquesta perspectiva.

20.2. Territori: una nova aproximació

Els apartats següents pretenen exposar la visió i comprensió que es té actualment en relació amb el territori i com està fructificant, de manera que permet abordar i aplicar els instruments que disposem d'una manera més sòlida i consistent per a integrar-hi els aspectes que tenen relació amb el canvi climàtic.

A més de noves eines i instruments que s'han generat en els darrers anys per tal de fer front al canvi climàtic, com ho són els compromisos pel clima, els PAES, els plans d'adaptació, els plans d'energia, canvi climàtic i qualitat de l'aire, etc., cal destacar com a eines fonamentals la planificació territorial i urbanística i l'avaluació ambiental estratègica. Efectivament, l'expressió dels problemes de qualitat ambiental té l'aproximació més bàsica en la configuració del territori i, per tant, la planificació i l'avaluació ambiental tenen una gran responsabilitat a l'hora d'abordar-ne preventivament la minimització i de definir més adequadament l'ordenació del territori.

En aquest sentit, aquest capítol recull les aportacions en matèria de canvi climàtic que, des de

fa uns anys, s'han realitzat en relació amb la planificació territorial i urbanística de Catalunya. Durant aquests anys, s'han desenvolupat nous instruments i també s'han completat alguns que ja existien. Tots aquests plans tenen una repercussió en la biocapacitat del territori i repercuteixen en la vida de les persones.

Aquesta aproximació és una oportunitat d'actualitzar la visió i analitzar el problema tant des de l'àmbit territorial com també des de qualsevol dels àmbits sectorials en els quals el canvi climàtic té incidència.

20.2.1. Espais oberts

El sistema d'espais oberts comprèn, essencialment, tot el sòl classificat com a «no urbanitzable» en el moment de l'elaboració dels plans territorials. Podem considerar espais oberts tots aquells territoris que no són urbans ni estan destinats a ser-ho segons el planejament urbanístic actual. En conseqüència, els espais oberts preserven la part més important de la biodiversitat i també dels ecosistemes d'un territori. En aquest sentit, és essencial tractar convenientment la matriu territorial a l'hora de preservar la biodiversitat i els processos associats que tenen tanta importància en relació amb el canvi climàtic.

Al final del decenni de 1990, les estratègies de conservació, tant internacionals (CNUMAD: Cimera de la Terra, Conferència de les Nacions Unides per al Medi Ambient i el Desenvolupament, 1992) com, especialment, l'europea (Comissió de les Comunitats Europees, 1998), ja valoraven la necessitat d'incidir en una ordenació del territori més adequada, en la qual les consideracions ambientals tinguessin un pes rellevant. Això és important perquè, a Europa, l'ocupació del territori i el desplaçament progressiu de la població cap a les ciutats i les àrees urbanes, juntament amb les transformacions causades per l'activitat econòmica, sotmeten cada dia més els espais oberts a friccions i pressions molt importants, fet que marca una tendència cap a la banalització i l'empobriment dels hàbitats i dels ecosistemes. Com a resposta, l'evolució dels darrers anys ha estat, precisament, la de valorar més i més bé la importància del que actualment anomenem internacionalment *infraestructura verda* (el territori com

a principal infraestructura; vegeu Mayor *et al.*, 2009), garant del bon manteniment dels serveis ecosistèmics (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), i també de la progressiva transformació de l'economia clàssica a economia verda (TEEB, 2008; UNEP, 2011).

Els espais oberts, durant molts anys, han estat tinguts en compte i valorats, bàsicament, per la capacitat productiva, ja fos real o potencial, i especialment pel que feia als valors productius en termes d'economia clàssica, sobretot de béns orgànics (espais agrícoles i forestals, amb diferents intensitats), mentre que els que no són especialment productius en termes econòmics (espais protegits, de valor natural o paisatgístic) hi figuraven d'una manera més passiva. Aquesta visió ha quedat obsoleta. L'evolució i la maduració del coneixement que l'ecologia aplicada al territori ha aportat, especialment, durant el darrer decenni, ha facilitat tenir-ne una visió diferent, més complexa i completa. També cal tenir en compte que la perspectiva actual del context econòmic, social i ambiental és ben diferent a la de fa trenta anys o més.

Per tal de fer front a la situació, cal superar la interpretació clàssica i majoritària dels espais oberts com a sòl *no urbanitzable*, una visió basada, fonamentalment, en la qualitat productiva de les diferents peces (espais agrícoles, forestals o d'interès paisatgístic). L'anomenat sòl *no urbanitzable* conté molts més valors que els productius, fet pel qual cal replantejar aquesta visió de manera significativa. La introducció dels conceptes, idees i visions que s'han dut a terme des de l'ecologia del paisatge o la territorial, fins i tot en espais urbans, han obert un ventall de possibilitats per a aproximar-se, també des d'aquesta disciplina, a una comprensió més adient, i, per tant, a una planificació i una gestió d'aquests espais més adequada.

L'essència ecològica que tenen fa que l'aproximació des de l'ecologia aplicada resolgui molt més bé i de manera més correcta els valors estratègics, els ecològics, els ambientals i, també, els productius (figura 20.1). També permet valorar més adequadament les alternatives pel que fa a les decisions que calgui prendre. Això és així, especialment, si

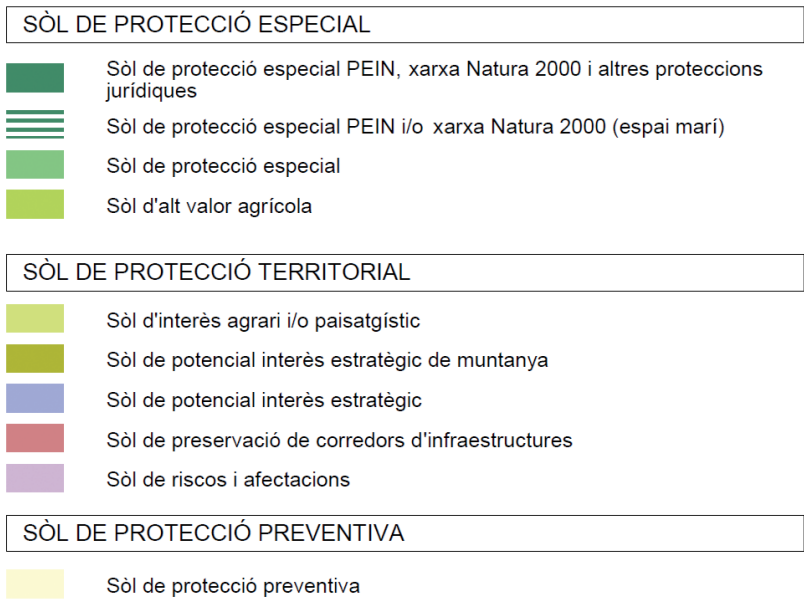
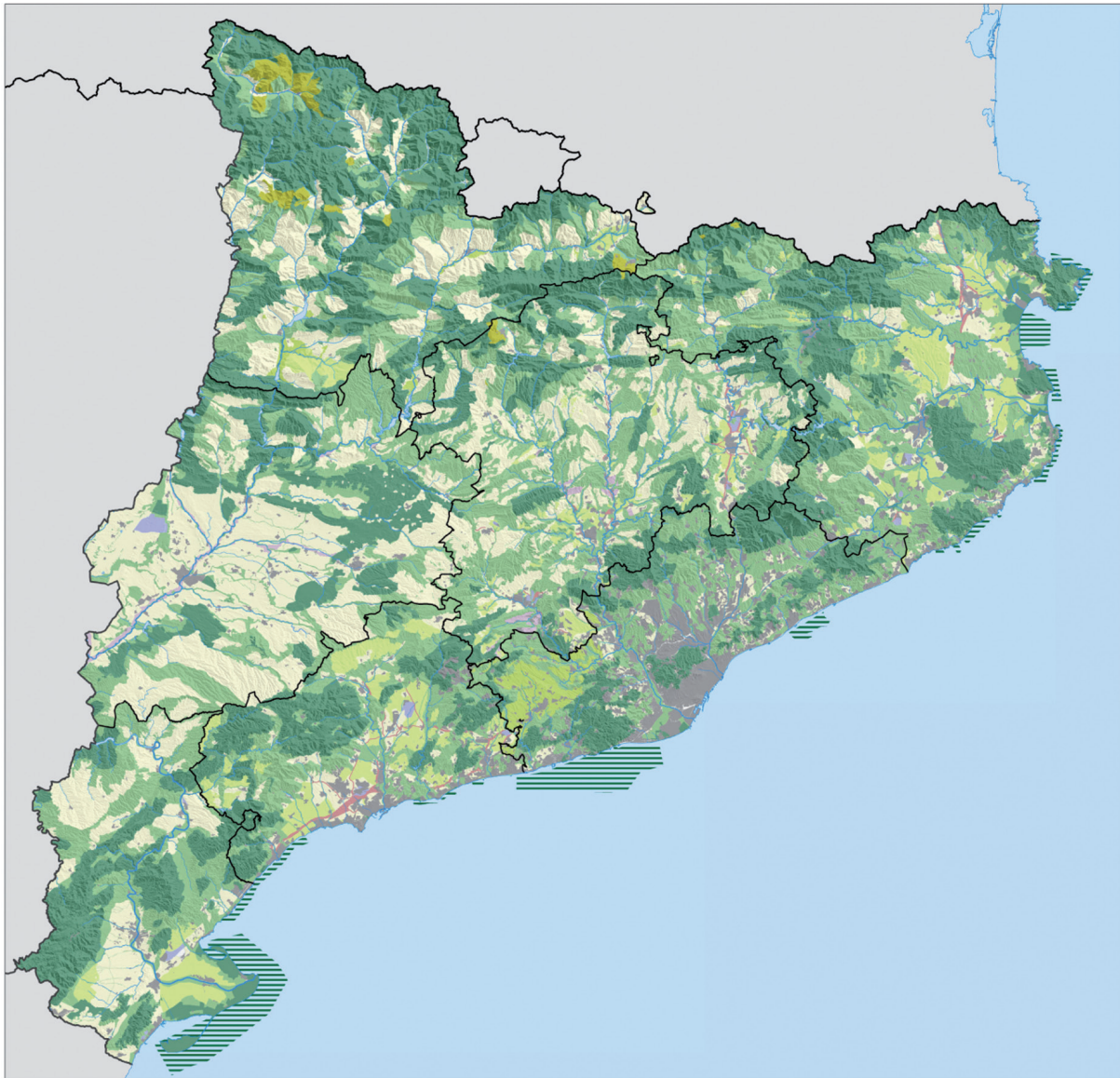


FIGURA 20.1. Síntesi dels espais oberts. Categories de sòl (Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya).

l'objectiu és que les coses que hi posem al damunt encaixin més bé i generin més actiu positiu, mentre que els valors i els serveis ecosistèmics de què proveeixen es mantenen (Mayor, 2012), i també en relació amb allò que no s'ha de fer en cap cas.

Amb aquest nou enfocament, cal determinar els valors estratègics, estructurals i funcionals de les diferents peces que configuren els espais oberts. Si ho aconseguim fer, ens permetrà definir més bé les activitats que són compatibles, fet que és clau per a acceptar el repte de dur a terme una transformació territorial. Entre elles, a Catalunya cal destacar el turisme sostenible, a causa del potencial que té i la incidència de proximitat territorial. No estem parlant de fets menors, ben al contrari; parlem d'una part molt important de l'economia del país i de la gent que hi habita, cosa que ens porta a tenir més capacitat per a abordar consistentment les friccions i les perturbacions que la nostra activitat genera en aquesta mena d'espais.

Actualment, la comprensió dels espais oberts es basa, primordialment, a considerar-ne cinc aspectes clau: la preservació de la biodiversitat, els processos ecològics, el control de les perturbacions, la consideració dels serveis ecosistèmics i el manteniment i la millora del paisatge. Igualment, el model incorpora i té en compte el canvi climàtic com a un factor modulador de primer ordre, per bé que la capacitat d'intervenir en aquest procés és encara limitada. A més, cal tenir en compte que aquest plantejament val per a qualsevol espai obert, sigui quina sigui la realitat ecològica, el règim d'usos i d'activitats i la realitat territorial.

Un risc el trobem en la simplificació ecològica dels espais oberts i, per tant, en la reducció substancial de la biocapacitat. Això significa la pèrdua i l'empobriment del patrimoni natural i dels serveis ecosistèmics, però també de la capacitat de resistència i de resiliència pel que fa a les perturbacions. Aquestes afectacions no són menors ni sectorials; són essencials i bàsiques per a qualsevol territori, i més encara en el nostre territori, ja que és el principal recurs natural que tenim, tant per l'ús i aprofitament que en fem com pel que podríem fer si plantegéssim seriosament l'activitat econòmica de manera sostenible i en favor de les poblacions que s'hi impliquen més directament.

Amb tot, el fet és que el canvi climàtic, en els diferents escenaris de futur, hi tindrà una repercussió rellevant.

20.2.2. *Espais protegits*

Dins els espais oberts, els espais protegits preserven una part important de la biodiversitat i de determinats ecosistemes i espècies que, per les característiques i la situació que tenen, requereixen nivells baixos de perturbació ambiental. En general, es tracta de territoris on el nivell de perturbació antròpica és una mica més baix —o prou més baix, segons quins siguin els casos— que a la resta d'espais oberts de la matriu territorial.

El manteniment de les variables que configuren l'espectre de condicions ambientals d'un lloc és la garantia que les espècies presents podran desenvolupar convenientment els cicles vitals. Són, precisament, aquests baixos nivells de perturbació els quals configuren i mantenen prou estables els *preferenda* de les condicions que les diferents espècies presents requereixen.

Les perturbacions afecten les espècies, i ho fan en més o menys grau segons la tipologia, la intensitat i la durada. També diferents espècies (hàbitats, si es vol) tenen una capacitat distinta per a resistir els efectes de les perturbacions i per a recuperar-se després d'haver estat afectades. El règim de perturbacions és especialment important per a entendre que, en un lloc determinat, les espècies presents es poden veure afectades si la perturbació o les perturbacions alteren l'estat ecològic (condicions, recursos i interaccions) i, fins i tot, fer-les desaparèixer. Les perturbacions són, en bona part, les grans reguladores de la biodiversitat d'un lloc concret.

Conèixer exactament quines condicions ambientals té cada espècie durant el cicle vital i preveure els canvis que els poden causar és una feina ingent. Per això, procurar preservar determinats espais és una bona manera d'assegurar que les espècies implicades i els ecosistemes on habiten es mantinguin al llarg del temps.

Així doncs, és important incidir en la visió de la natura en termes de dinamisme i no com un estadi estacionari o immòbil. En un ecosistema hi ha un

cert nombre d'espècies, però les poblacions de cada espècie són dinàmiques, i si les condicions, els recursos, el camp d'interaccions i els nivells de perturbació són prou constants, aquestes espècies romanen en el lloc. Tanmateix, si hi ha algun canvi prou significatiu perquè una o més espècies tinguin dificultats per a executar el cicle vital, aquestes espècies es poden veure afectades. El grau d'afectació serà diferent segons quins siguin l'origen i la intensitat del canvi i de les possibilitats d'entomar-lo que tingui el programa biològic de cada espècie. Així, es pot donar el cas que una o més espècies en vegin compromesa la presència perquè l'ecosistema ja no els és ecològicament «amable» i, consegüentment, això les faci marxar o, fins i tot, desaparèixer. Igualment, pot passar que alguna espècie arribi de nou a un ecosistema, alterat o no, i el programa biològic funcioni bé i s'hi estableixi. Per tant, la idea de «natura estàtica» no és sòlida, sinó que cal veure-la com un equilibri dinàmic o una estabilitat dinàmica. Quan alterem un ecosistema, augmentem la probabilitat que aquestes pèrdues o entrades de noves espècies hi tinguin lloc, i això és un procés que difícilment podrem governar. Quan parlem de preservar la biodiversitat, d'allò que ho fem és de no facilitar aquestes alteracions.

El canvi climàtic afecta o pot afectar les condicions ambientals i, en aquest sentit, és reconegut com una de les forces evolutives al llarg de la història de la biosfera. Conèixer com afectarà el canvi climàtic a cadascuna de les espècies és difícil i demana un esforç molt gran, tant en recursos com en temps, més encara quan els escenaris tendencials no dei-

xen preveure amb certesa quins seran els canvis i quina incidència tindran.

Segurament, la manera d'abordar aquest coneixement se centrarà més concretament en el fet de treballar pel que fa a les espècies més vulnerables, de biologia més coneguda, de les quals es pugui preveure la resposta quan es vegin afectades. El que segur significarà una bona aproximació serà el fet d'analitzar què pot passar en relació amb els ecosistemes i els hàbitats. Per això seria especialment important recollir dades, a partir de la informació científica que existeix pel que fa als ecosistemes i, especialment, pel que fa a la successió ecològica lligada a canvis de les condicions ambientals. Això permetrà valorar cap a on poden evolucionar segons el que ens indiquen els escenaris previstos de canvi climàtic.

Serà determinant conèixer les projeccions possibles dels estadis successional dels ecosistemes i dels hàbitats amb relació a diferents tipologies bàsiques de perturbacions. Aniria bé disposar d'aquesta informació per a poder-la comparar amb els escenaris de canvi climàtic. Per aquest motiu, és important que s'iniciïn línies de treball en aquest sentit i que tinguin en compte un *tempo* tècnic d'assoliment de coneixement que serveixi per a prendre decisions.

Els espais protegits de Catalunya gaudeixen d'un ventall de regulacions diferents segons la figura o l'instrument de protecció del qual formen part. Independentment de la protecció més general que proveeixen els plans territorials parcials, els quals

TAULA 20.1. Dades bàsiques d'evolució de la protecció de l'entorn de Catalunya

Instrument	Any	Nombre d'espais	Superfície ha (%)
Llei d'espais protegits (ENPE)	1985	19 (7 l'any 1985)	290.794 ha (9%) ¹
Pla d'Espais d'Interès Natural	1992	144	1.063.459 ha (33,1%) ²
Xarxa Natura 2000	2006	115 llocs d'importància comunitària (LIC) 73 zones d'especial protecció per a les aus (ZEPA)	1.040.155 ha (32,4%) ²
Plans territorials parcials	2008	Conjunt matriu territorial	3.210.654 ha (100%) ¹

1. Idescat.

2. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

abasten la totalitat dels espais oberts de Catalunya, les figures de protecció especial, el PEIN, la xarxa Natura 2000 i altres instruments de protecció de la biodiversitat, es basen especialment a reconèixer el valor ecològic intrínsec a determinats territoris de la geografia catalana (taula 20.1).

En tot cas, els espais protegits ocupen un terç del territori, molts dels quals són força boscosos, la qual cosa implica una acumulació de carboni important i organitzada per estrats, així com una capacitat d'absorció i d'efecte embornal i regulador prou gran, que no es pot negligir, i que cal tenir ben en compte a l'hora de valorar la mitigació i l'adaptació del canvi climàtic. En la situació actual, cal aprofitar l'avinentsa per a desenvolupar una política de preservació basada en la diversitat, les xarxes i el control indirecte de les pertorbacions, i també per a valorar activament les possibles conseqüències del canvi climàtic en aquests espais.

Per això es fa imprescindible establir una estratègia sòlida pel que fa a la preservació, la revisió

del plantejament de figures de protecció especial i dels plans que les desenvolupen, a l'empara d'una legislació nova que superi l'antiga i obsoleta Llei 12/1985, del 13 de juny, d'espais naturals, i el replantejament dels instruments de protecció des d'una aproximació més estratègica, més ecològica i menys naturalística i més eficient que l'actual.

20.2.3. Determinacions en la planificació territorial

L'ordenació del territori és una competència exclusiva del Govern de la Generalitat que, com a tal, es va recollir en l'Estatut de Catalunya de l'any 1979 i el del 2006. L'any 1983 es va aprovar la primera Llei de política territorial, encara vigent, en què es regulen els objectius d'aquesta matèria, així com els instruments que s'hauran de redactar per a assegurar-ne el compliment. L'any 1995 es va aprovar per llei el Pla Territorial General de Catalunya, que és la figura de categoria superior del sistema de planificació territorial i que actua com a marc de coherència i d'orientació per a la resta de figures d'aquest siste-

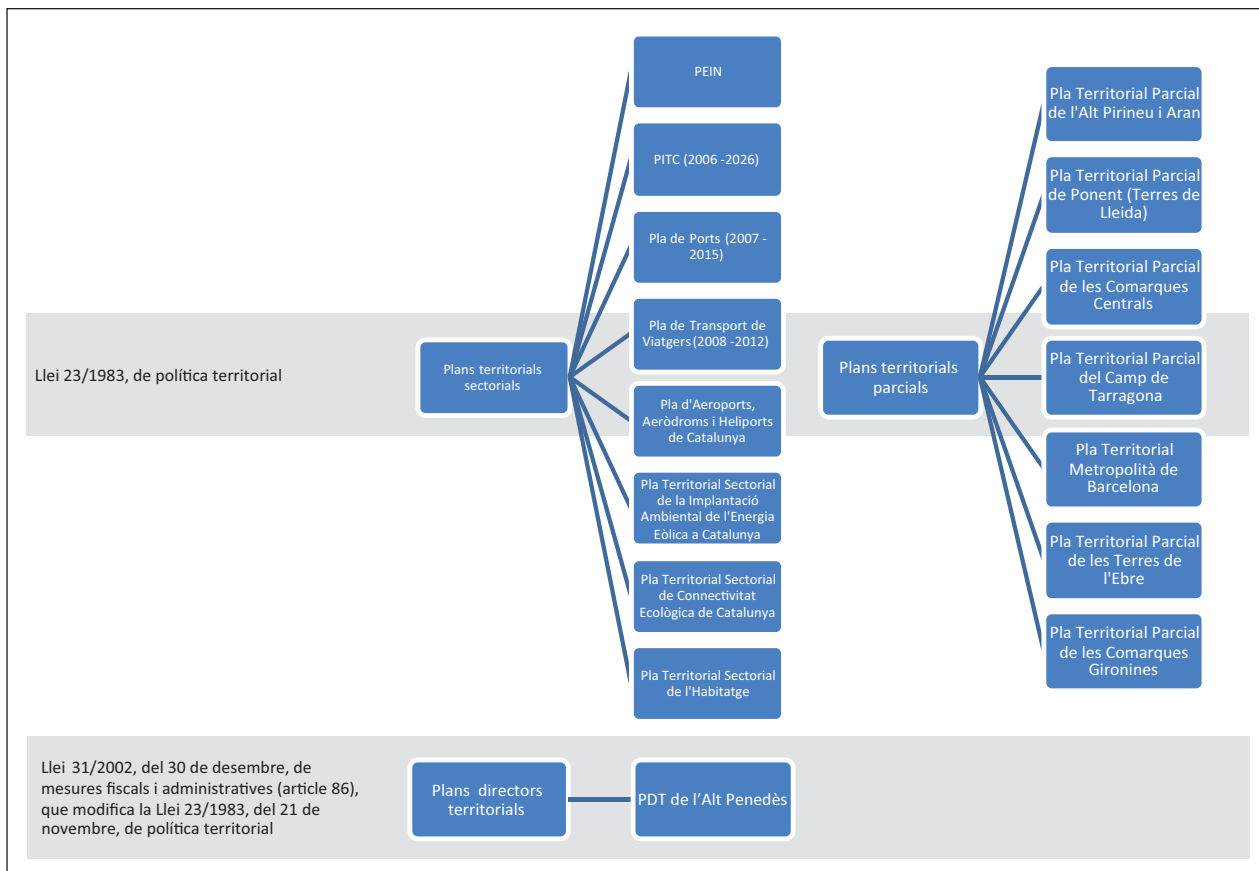


FIGURA 20.2. Plans territorials competència del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya existents en el moment d'elaboració de l'informe (Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya).

ma de planificació, les quals són els plans territorials parcials i els plans territorials sectorials (figura 20.2).

Entre el 2004 i el 2010 s'han aprovat els diferents plans territorials parcials que comprenen els àmbits de planificació territorial definits en la Llei 1/1995, així com el de l'Alt Pirineu i Aran, àmbit que va ser aprovat l'any 2001 (taula 20.2). Pel que fa als plans territorials sectorials, la situació és més diversa, ja que la redacció d'aquestes figures de planejament depèn de l'òrgan responsable, tot i que el departament competent n'ha aprovat uns quants, els quals tenen especial relació amb la mobilitat.

20.2.4. Plans territorials parcials i sectorials

Els plans territorials parcials són una figura de planificació definida per la Llei 23/1983, de política territorial, per a cadascun dels àmbits de planificació establerts en la Llei 1/1995, d'aprovació del Pla Territorial General de Catalunya. En total, n'hi ha set: Pla Territorial Parcial de Ponent (Terres de Lleida), Pla Territorial Metropolità de Barcelona, Pla Territorial Parcial de l'Alt Pirineu i Aran, Pla Territorial Parcial de les Comarques Gironines, Pla Territorial Parcial de les Comarques Centrals, Pla Territorial Parcial de les Terres de l'Ebre i Pla Territorial Parcial del Camp de Tarragona.

A les taules 20.3 i 20.4 es recull una síntesi de les determinacions pel que fa al canvi climàtic que recullen els diferents plans territorials parcials i sectorials, respectivament, els quals inclouen alguna referència específica o hi tenen a veure.

Queda palès que el tractament que s'ha fet dels aspectes en relació amb el canvi climàtic és bàsic i

inicial, i també que és desigual pel que fa a la intensitat. Cal valorar l'esforç dut a terme per tal d'introduir-lo en els plans, però també cal fixar objectius i determinacions que estiguin més d'acord amb la realitat i amb el coneixement actuals. Actualment, la tendència és creure que el canvi climàtic és un dels reptes més rellevants que caldrà afrontar durant els propers decennis.

Per tant, cal plantejar la incorporació més ferma de determinacions i d'objectius en els plans territorials, especialment en aquells en què la incidència sigui més rellevant, encara que això no n'ha d'implacar necessàriament la revisió. En aquest sentit, la realització ben coordinada de documents específics que n'estableixin els objectius i, sobretot, les determinacions i les mesures en relació amb l'adaptació i la mitigació seria una via possibilista.

Tot i que no siguin plans territorials, també hem cregut convenient esmentar els plans directors urbanístics del sistema costaner (PDUSC) com a instruments que tenen l'objectiu principal de sostreure del procés d'urbanització la franja de cinc-cents metres de sòl qualificat com a no urbanitzable, a banda de bona part de l'urbanitzable, i millorar les propostes pel que fa al sòl urbanitzable delimitat. Per tant, els PDUSC protegeixen l'espai costaner català, el qual s'exposa especialment a les conseqüències del canvi climàtic.

20.3. Espai urbà: una nova aproximació

Els conceptes d'*espai urbà* i d'*ecologia* se sobreposen i són compatibles. Els espais urbans són una transformació que modifica els hàbitats preexistents per transformar-los convenientment per complir els nostres interessos d'espècie.

TAULA 20.2. Plans territorials parcials de Catalunya i la data d'aprovació (Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya)

Plans territorials parcials	Data d'aprovació
Pla Territorial Parcial de l'Alt Pirineu i Aran	25 de juliol del 2006
Pla Territorial Parcial de Ponent (Terres de Lleida)	24 de juliol del 2007
Pla Territorial Parcial de les Comarques Centrals	16 de setembre del 2008
Pla Territorial Parcial del Camp de Tarragona	12 de gener del 2010
Pla Territorial Metropolità de Barcelona	20 d'abril del 2010
Pla Territorial Parcial de les Terres de l'Ebre	27 de juliol del 2010
Pla Territorial Parcial de les Comarques Gironines	14 de setembre del 2010

La configuració dels espais urbans és la materialització de l'ecosistema antròpic per excel·lència. És, precisament, en aquesta transformació de l'ecosistema que tenim una responsabilitat important pel que fa a la configuració. Hi ha moltes maneres de configurar els espais urbans, per bé que tradicionalment s'han configurat sense tenir en compte les propietats dels ecosistemes (baixos en diversitat biològica) ni els cicles de l'aigua i dels residus (sense prestacions paisatgístiques, sense generar

confort etològic, etc.). Hi ha moltes maneres possibles de configurar l'espai urbà i, actualment, hi ha noves perspectives que cal explorar.

20.3.1. Planificació i disseny de l'espai urbà

El nombre, mida de la població, l'extensió espacial, la taxa de creixement i el grau d'impacte ambiental de les ciutats no tenen precedents. La meitat de la població humana viu en zones urbanes. La proporció creix, i el nombre de residents urbans es

TAULA 20.3. Principals determinacions en relació amb el canvi climàtic, incloses en els diferents plans territorials parcials de Catalunya

Consideracions comunes a tots els plans		Consideracions específiques en els diferents plans territorials parcials ¹				
Estratègies i objectius	Avaluació ambiental	PTPCC	PTPAPA	PTPCG	PTPTE	PTPCT
<ul style="list-style-type: none"> • Potenciar les polaritats urbanes (estratègia de concentració dels creixements en un nombre limitat de nodes o nuclis urbans). • Preveure creixements amb mescla d'usos i contigus als nuclis urbans existents (escurçament de les distàncies de desplaçament i facilitat per a establir transport públic). • Potenciar les infraestructures de transport col·lectiu a determinades àrees i centres urbans. • Evitar la urbanització i la degradació d'aquells terrenys no urbanitzats que reuneixen especials qualitats com a espais d'interès natural, paisatgístic, social, econòmic i/o cultural. • Dissenyar la xarxa d'espais naturals i connectors per a possibilitar la dispersió de la flora i la fauna i, consegüentment, l'adaptació a possibles canvis en el clima. • Establir com a prioritàries les inversions en infraestructura ferroviària en detriment de la viària. 	<p>Definició d'objectius ambientals relacionats amb:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mitigar el canvi climàtic. • Protegir el sòl forestal com a embornal de GEH. • Potenciar modes de transport més eficients. • Frenar el creixement de la mobilitat obligada. • Millorar l'eficiència dels fluxos energètics. • Preparar-se per a afrontar els efectes del canvi climàtic. • Afavorir la reducció de GEH. 	<p><i>Sistema d'espais oberts:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Parla de la rellevància del sòl de protecció especial en l'absorció del CO₂. <p><i>Avaluació ambiental:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Proposa el desenvolupament d'instruments per a avaluar la contribució del planejament a la mitigació del canvi climàtic i a la reducció de les fonts que el causen. 	<p><i>Estratègia i objectius:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la dependència de l'economia pirinenca dels esports de neu, els quals estan amenaçats en un escenari de canvi climàtic. 	<p><i>Sistema d'espais oberts:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Parla de la rellevància del sòl de protecció especial en l'absorció del CO₂. 	<p><i>Sistema d'espais oberts:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Creació d'un sistema d'informació per a l'obtenció i gestió de dades en relació als fenòmens climàtics i al delta de l'Ebre. <p><i>Sistema d'assentaments:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Defineix una estratègia específica per a minimitzar els efectes del canvi climàtic en determinades àrees urbanes. <p><i>Normativa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • La normativa recull aquestes mesures. 	<p><i>Normativa:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • En matèria d'assentaments, determina la importància de minimitzar la repercussió de la proposta d'un conjunt de desenvolupaments en les emissions.

1. El Pla Territorial Parcial de Ponent (Terres de Lleida) i el Pla Territorial Metropolità de Barcelona no recullen cap consideració específica en relació amb el canvi climàtic. Cap pla no presenta consideracions específiques en l'àmbit del sistema d'infraestructures de mobilitat (les que hi ha, es mencionen en la columna de consideracions comunes). PTPCC: Pla Territorial Parcial de les Comarques Centrals; PTPAPA: Pla Territorial Parcial de l'Alt Pirineu i Aran; PTPCG: Pla Territorial Parcial de les Comarques Gironines; PTPTE: Pla Territorial Parcial de les Terres de l'Ebre; PTPCT: Pla Territorial Parcial del Camp de Tarragona.

TAULA 20.4. Principals determinacions en relació amb el canvi climàtic, incloses en els diferents plans territorials sectorials de Catalunya amb una incidència territorial més elevada

Pla d'Infraestructures del Transport (2006-2026)	Pla de Ports de Catalunya (2007-2015)	Pla de Transport de Viatgers de Catalunya (2008-2012)	Pla d'Aeroports, Aeròdroms i Heliports de Catalunya	Pla Territorial Sectorial de la Implantació Ambiental de l'Energia Eòlica a Catalunya	Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya (2012-2020)	Pla General de Política Forestal 2014-2024
<p>El Pla incrementa substancialment les inversions en infraestructura ferroviària, les prioritza als entorns amb més congestió viària i afavoreix la utilització del mode de transport més apropiat en cada cas en relació amb els costos totals (tant en l'àmbit de viatgers com en el de mercaderies).</p> <p>Es calcula que una quota modal dels transports col·lectius més elevada, la millora en l'eficiència del consum de combustible dels vehicles i la modernització del parc de vehicles comportarà una disminució del consum de combustible i de les emissions de CO₂ (aproximadament un 10 %).</p>	<p>Estableix que les instal·lacions portuàries han d'adoptar la implantació de mesures d'eficiència energètica i d'estalvi d'aigua, i estableix indicadors per fer-ne el seguiment.</p>	<p>Té per objectiu reduir les emissions de CO₂ un 6,5 % i el consum d'energia un 4,6 %. Per a fer-ho, caldrà renovar el parc mòbil i usar combustibles alternatius. El període de desplegament ha expirat fa temps i no consta que hagi estat revisat o redactat de nou.</p>	<p>Les mesures que proposa inclouen millorar l'eficiència energètica en les noves edificacions aeroportuàries, afavorir les flotes amb aeronaus més modernes per a limitar la contaminació atmosfèrica i l'emissió de soroll i que els àmbits aeroportuaris tinguin un cert grau d'aportació a la producció d'energies.</p> <p>El pla proposa la definició del nivell d'exigència per a l'explotació de les instal·lacions a partir de l'establiment d'uns estàndards d'emissió, conjuntament amb els operadors, de l'estat del medi al voltant dels aeroports i de les directrius de les administracions competents.</p>	<p>L'objectiu del pla és la implantació correcta de l'energia eòlica a Catalunya, fet per al qual és necessari definir un marc regulador que faci compatibles la necessitat de disminuir les emissions de CO₂, d'afavorir el desenvolupament local sostenible i de preservar el patrimoni natural. En principi, el període de vigència d'aquest pla ha expirat fa temps i no consta que hagi estat revisat o redactat de nou.</p>	<p>Els objectius i línies plantejats en l'esquema intensiu en eficiència energètica del Pla permeten assolir una reducció del 24,66 % en les emissions de GEH, una reducció de les emissions d'òxids de nitrogen, un increment controlat de material particulat, de monòxid de carboni i de compostos orgànics volàtils; i la definició de mesures per tal de minimitzar l'impacte ambiental sobre el territori del model energètic.</p>	<p>El pla inclou en el primer dels objectius la importància de la gestió forestal sostenible en la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic. Tots els eixos estratègics, les línies d'actuació i 75 accions de les 108 totals contenen aspectes relacionats directament o indirectament amb el canvi climàtic. Les línies d'actuació que hi incideixen més directament són les que estan relacionades amb la salut i la vitalitat dels ecosistemes forestals, la conservació dels recursos genètics forestals i la regeneració de zones afectades per perturbacions naturals. El pla també defineix directrius de política forestal relatives al desenvolupament d'estratègies adaptatives per a fer front al canvi climàtic, i a la funció protectora i de gestió de l'aigua de les forests.</p>

1. Plans territorials sectorials: Pla d'aeroports, aeròdroms i heliports de Catalunya; Pla de transport de viatgers de Catalunya (2008-2012); Pla de ports de Catalunya (2007-2015); Pla d'infraestructures del transport (2006-2026); Pla d'espais d'interès natural (PEIN); Pla Territorial Sectorial de la Implantació Ambiental de l'Energia Eòlica a Catalunya; Pla de l'Energia i Canvi Climàtic a Catalunya 2012-2020; Pla General de Política Forestal 2014-2024; Pla Territorial Sectorial de la Connectivitat Ecològica de Catalunya (PTSCEC); Pla Director d'Instal·lacions i Equipaments Esportius de Catalunya.

dispara. Avui dia, les ciutats i els pobles s'enfronten a una gran quantitat de reptes ambientals relatius a la producció d'aliments, d'energia, d'aigua, a la gestió de residus i la contaminació, així com als

reptes socials pel que fa a l'ocupació, la pobresa i la salut humana i el benestar. La velocitat i la magnitud de la urbanització a tot el món actual fa que ens trobem en una situació que s'ha qualificat de

«nova revolució urbana», la qual té associats l'objectiu i el punt de trobada en l'eslògan «volem ciutats saludables, habitables, sostenibles, i resilients».

Les ciutats modernes s'han desenvolupat, principalment, sobre la base de la planificació des del punt de vista de l'enginyeria, l'arquitectura i l'urbanisme. Les normes de disseny han estat impulsades per les necessitats i les limitacions socials i econòmiques. S'han construït i gestionat com a entitats diferents, on la gent, els edificis, les carreteres, els carrers, la natura, l'aigua, l'energia i l'economia s'han plantejat amb una certa separació entre els professionals, els acadèmics i les administracions.

No obstant això, l'ecologia està emergint amb força i està prenent una importància fonamental. L'ecologia urbana ja no és l'ecologia dels cicles i dels fluxos de l'energia i de la matèria; és l'ecologia del lloc on vivim. Actualment, els plantejaments de planificar, dissenyar i desenvolupar ciutats no són comprensibles si els pensem per a la gent que hi habita sense fer abans una aproximació ecològica. Recentment, Forman (2014) ha fet un compendi sobre l'ecologia de les ciutats que pot esdevenir un referent pel que fa a l'aplicació integrada de l'ecologia en la definició de ciutats, igual que el *Land mosaics* (Forman, 1995) va resultar el referent pel que fa a l'ecologia del paisatge o territorial.

En aquest sentit, dues consideracions són especialment útils a l'hora d'acostar-s'hi des de l'ecologia. D'una banda, que la major part dels centres de ciutats tenen una anella al voltant que pot tenir característiques ben diferents (per exemple, una àrea metropolitana) i que això condiciona els fluxos entre la ciutat i l'exterior. De l'altra, que les àrees urbanes són també mosaics.

En un espai urbà podem identificar atributs, jerarquies i gradients que ens poden facilitar l'anàlisi i l'aproximació. Així, podem tenir com a punt de partida els hàbitats i les espècies, les zones i les peces, els corredors i els fluxos, i, molt important, els canvis. És en la capacitat de preveure els canvis en què hi ha un salt molt important en la planificació i el disseny dels espais urbans, tant si són nous com si han estat millorats. Això, que afecta essencialment la capacitat de resiliència, també té

una implicació ben notable pel que fa a l'adaptació al canvi climàtic i, també, en la mitigació.

Així, l'espai urbà, si l'entendem des de l'ecologia, ha de tenir en compte el sòl sobre el qual està situat (la tipologia, les propietats fisicoquímiques que s'hi associen, les espècies que hi habiten, etc.), l'aire (la qualitat, la pol·lució, l'energia i la radiació, la calor, els microclimes), l'aigua (el cicle i els fluxos, l'aigua subterrània, la precipitació, les basses, els rius, els reservoris, les zones costeres i les aigües residuals), els hàbitats i les comunitats de plantes, tant pel que fa a la composició i l'estructura (arbres i arbusts) i a la biodiversitat que acull a part de la que li és pròpia (fongs, animals, protists, etc.), com la dinàmica (canvis en el temps, estructura vertical, moviment, etc.).

Aquests coneixements de la base, la planificació i el disseny urbà han de tenir en compte la definició i el disseny de les estructures antròpiques (edificis, carreteres i carrers, ferrocarrils, superfícies dures i escletxes, parcel·les i jardins, etc.) de les zones residencials, comercials i industrials, i, d'una manera especial, la repercussió en els actius més ecològics i de confort per als ciutadans, els espais verds, els parcs urbans i periurbans, els corredors verds i les zones d'agricultura urbana, els quals estan integrats en un sistema d'espai verd urbà (figura 20.4).

Les ciutats que es basen en aquesta configuració tendiran a ser més resilents i, per tant, seran les que protegiran més bé les comoditats i les necessitats per a viure dels habitants, no seran tan vulnerables a l'escassetat del petroli, es prepararan més correctament per a afrontar el canvi climàtic i seran més equitatives (Newman *et al.*, 2009).

20.3.2. Determinacions en la planificació urbana

Entre els aspectes clau que cal tenir en compte en la planificació urbana pel que fa a la mitigació i a l'adaptació al canvi climàtic, destaca el fet de com es pot plantejar la planificació directa de l'espai urbà d'una manera que impliqui una despesa energètica més baixa, una configuració climàtica més bona i una concreció més resilient, vinculada a una possibilitat més bona d'aprofitar el construït pel que fa als canvis propis de la ciutat que es donin en el temps.

Tot i que, des de feia temps, la legislació urbanística demanava consideracions ambientals en els plans urbanístics, amb l'aparició de la Directiva sobre avaluació ambiental de plans i programes (coneguda com *avaluació ambiental estratègica*) es va iniciar una aproximació molt més sòlida i compromesa en la inclusió, la consideració i la implementació dels aspectes ambientals i de sostenibilitat en aquests importants instruments de planificació del territori a escala local.

La transposició de la Directiva a la legislació estatal i catalana es va fer, primerament, amb la Llei 6/2009, en què la incorporació del canvi climàtic era tàcita; i, posteriorment, amb la nova Llei 21/2013, en què s'indica el mandat de l'avaluació dels impactes del canvi climàtic i de l'avaluació de les emissions de CO₂.

Pel que fa al canvi climàtic, l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC) de la Generalitat de Catalunya ha tingut un paper cabdal en la progressiva introducció del canvi climàtic en la materialització dels plans i els programes amb efectes ambientals.

L'OCCC ha desenvolupat els continguts que s'han de tenir en compte en aquests documents i s'hi ha pronunciat en els diferents informes i documents que l'òrgan ambiental competent ha emès en relació amb els plans, els programes i els documents ambientals corresponents. Cal tenir present que, com que es tracta d'un instrument innovador i l'objecte una matèria especialment nova i dinàmica, seria més adequat dir que estem en un moment de maduració de criteris, objectius i continguts que cal tenir en compte.

En tot cas, els principals objectius que cal tenir en compte són, pel que fa a la mitigació del canvi climàtic, la minimització de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle vinculades al pla o programa i pel que fa a l'adaptació, esdevenir menys vulnerables als impactes del canvi climàtic.

Els continguts que cal tenir en compte en els documents ambientals es basen en els següents aspectes:

1) **DIAGNOSI.** Pel que fa a l'adaptació, cal tenir en compte l'increment de temperatures i l'augment de la freqüència de fenòmens meteorològics ex-

tremes en els escenaris de canvi climàtic a curt i a mitjà termini, per als quals es projecta un increment en la probabilitat d'ocurrència d'episodis de precipitació extrema en el conjunt de Catalunya (superior als 200 mm en vint-i-quatre hores) (*ESCAT 2011-2012: Generació d'Escenaris amb alta resolució a Catalunya*, Servei Meteorològic de Catalunya i Barcelona Supercomputing Center) i la disminució de la disponibilitat d'aigua a Catalunya. El canvi climàtic produirà, en general, una reducció del cabal dels rius, de la recàrrega subterrània i la modificació dels processos bioquímics que s'hi esdevenen.

La vulnerabilitat territorial a Catalunya més destacable es veurà en aquelles masses d'aigua on el cabal es destina a satisfer la demanda antròpica i la producció d'energia hidroelèctrica (conques litorals i prelitorals i conques altes del Llobregat i del Ter). També la diagnosi de l'Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic 2013-2020 (aprovada per l'Acord de Govern GOV/115/2012) indica que les àrees geogràfiques que presenten una vulnerabilitat més gran són els Pirineus —a causa dels augments previstos de temperatura mitjana de fins a +4,6 °C a final de segle— i el litoral, i especialment el delta de l'Ebre, per l'increment de fenòmens meteorològics extrems, el canvi en el règim d'onatge i la concentració de població i d'infraestructures en aquesta àrea geogràfica. Per tant, cal que l'AAE especifiqui si el municipi està classificat amb un règim de vulnerabilitat alta o molt alta per risc d'incendis forestals; si pertany a alguna conca d'aigua litoral, prelitoral, Ter o Llobregat; si l'àmbit previst es troba en zona de vulnerabilitat per risc d'inundació; i si pertany a alguna de les àrees geogràfiques que presenten una vulnerabilitat més gran a Catalunya.

2) **AVALUACIÓ DELS EFECTES DELS PLANS URBANÍSTICS SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC.** Pel que fa a l'avaluació, és interessant definir l'impacte amb relació a l'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle que el Pla generarà. Això implica determinar les demandes energètiques dels nous habitatges, la nova mobilitat generada i les actuacions impulsades en la mobilitat sostenible, les noves necessitats d'aigua, les càrregues energètiques associades, la generació de residus que comportarà i la pèrdua de superfície forestal i la capacitat d'embornal.

Per això, es planteja incorporar un balanç de CO₂ equivalent (el manual d'ús i el full de càlcul d'emissions de CO₂ associades a un POUM, OCCC i Subdirecció General d'Avaluació Ambiental; *Guia de càlcul de les emissions de GEH derivades de la gestió de residus municipals; C-Bosc: Projeccions dels estocs i de la capacitat d'embornal de carboni de Catalunya fins al 2050*) originat pel nou instrument planificador

que sigui avaluat des del punt de vista de les alternatives plantejades i sigui un element més de selecció per a escollir l'alternativa ambiental més raonable.

Pel que fa a l'adaptació als impactes, caldria estudiar la manera com afecten les propostes de planificació plantejades pel que fa a la vulnerabilitat del territori i si aquesta es veu incrementada.



FIGURA 20.3. Esquema del parc de la plaça de les Glòries Catalanes de Barcelona segons el projecte guanyador «Canòpia urbana» (Concurs Projecte urbà de l'espai lliure de la plaça de les Glòries Catalanes de la ciutat de Barcelona, 2014).

TAULA 20.5. Nombre de plans o programes territorials o sectorials informats de 2008 a 2015* per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Generalitat de Catalunya, 2015)

Pla o programa	Nre.
Plans de mobilitat urbana	33
Pla d'Aeroports Aeròdroms i Heliports de Catalunya	1
Pla Territorial Parcial Camp de Tarragona	1
Pla de Regadius de Catalunya 2008-2020 (fase preliminar)	1
Pla de Gestió de la Conca Fluvial de Catalunya	1
Pla Zonal d'Implantació de Cabals de Manteniment de la Conca Superior del Ter	1
Pla Territorial Sectorial de l'Habitatge de Catalunya (fase preliminar)	1
Pla de Gestió de la Sequera	1
Pla Territorial Sectorial de l'Habitatge de Catalunya (fase aprovació inicial)	1
Pla de Regadius de Catalunya 2008-2020 (fase aprovació inicial)	1
Pla Director d'Infraestructures de Transport Col·lectiu de la Regió Metropolitana de Barcelona 2009-2018	1
Pla de Connectivitat Ecològica de Catalunya	1
Plans municipals de residus de l'Alt Empordà	1
Plans d'ordenació de recursos forestals	2
Pla Director d'Infraestructures de Transport Col·lectiu de la Regió Metropolitana de Barcelona 2011-2020 (fase preliminar)	1
Text refós del Pla de Regadius 2008-2020	1
Candidatura dels JJOO Barcelona - Pirineus 2022 (fase preliminar)	1
Pla Director d'Infraestructures de Transport Col·lectiu de la Regió Metropolitana de Barcelona 2011-2020 (aprovació inicial)	1
Candidatura dels JJOO Barcelona - Pirineus 2022 (fase definitiva)	1
Programa d'Aigües Residuals Urbanes 2014	1
Pla Territorial Sectorial d'Infraestructures de Gestió de Residus Municipals de Catalunya 2013-2020 i del Programa General de Gestió de Residus i Recursos de Catalunya 2013-2020	1
Pla de Sostenibilitat de l'Àrea Metropolitana de Barcelona	1
Pla de Transports de Viatgers de Catalunya 2013-2020	1
Pla Estratègic de Fertilització i Dejeccions Ramaderes de Catalunya 2013-2016	1
Programa de mesures del Pla de gestió de districte de conca fluvial de Catalunya	1
Pla de Gestió del Risc d'Inundació de Catalunya	1
Programa de Cooperació Territorial França - Espanya - Andorra POCTEFA 2014-2020	1
Pla Director de Mobilitat de la RMB 2013-2018	1
Esborrany de l'Estratègia d'Adaptació al Canvi Climàtic de la Costa Espanyola	1
Programa de Desenvolupament Rural de Catalunya 2014-2020	1
Planificació de la Xarxa de Transport Elèctric d'Espanya 2014-2020	1
Pla Estatal Marc de Residus	1
Pla Especial del Parc Natural de Collserola	1
Total	66

* Dades no definitives, ja que són relatives a l'any en curs.

3) MESURES DE REDUCCIÓ D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE I MESURES D'ADAPTACIÓ AL CANVI CLIMÀTIC. Cal detallar una llista de mesures específiques per tal de compensar l'impacte que pugui tenir el nou planejament en l'increment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Això esdevé de l'aplicació del marc de la Directiva 2010/31/UE, del 19 de maig, relativa a l'eficiència energètica d'edificis, que determina que l'any 2021 tots els edificis de nova construcció hauran de tenir un consum gairebé nul d'energia i unes emissions de CO₂ baixes. Això significa tenir en compte aspectes fonamentals com ara: edificis dissenyats i construïts amb criteris de reducció de la demanda energètica; disseny eficient dels sistemes que cobreixen la demanda energètica, inclosos els recursos locals que abasteixen energèticament l'àmbit; compensació de l'impacte energètic generat; implementació d'aquelles mesures per a un ús racional de l'aigua que minimitzin l'impacte en les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle generades; implementació de mesures que permetin la reducció dels residus generats i d'un sistema de gestió de residus que prioritzi la reutilització dels materials i el reciclatge; i el plantejament, en l'àmbit de la mobilitat, d'actuacions que minimitzin l'ús del vehicle privat i fomentin mitjans de transport més sostenibles.

També, pel que fa a l'adaptació i a les previsions, cal que la planificació tingui en compte mesures que prevegin, de manera anticipada i flexible, els canvis probables, especialment pel que fa al possible increment de la freqüència dels incendis forestals, al dèficit de recursos hídrics, i a la valoració de si la ubicació de l'àmbit incrementa

la vulnerabilitat per risc d'inundació en cas de fenòmens meteorològics extrems. En aquest sentit, l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic recomana elaborar un Pla específic d'adaptació per l'àmbit que avalui les mesures específiques per a garantir els serveis bàsics (l'abastament d'aigua potable, el subministrament d'energia, la gestió de residus, la depuració d'aigües residuals urbanes i l'atenció primària de la salut). Pel que fa al seguiment de l'avaluació ambiental estratègica del pla o del programa, se suggereix incorporar a la proposta, com a indicadors de seguiment, les tones de CO₂ i la tendència a la reducció d'emissions desitjable per a contribuir a la lluita contra el canvi climàtic.

L'activitat de l'OCCC pel que fa a l'avaluació ambiental estratègica en els darrers anys es resumeix en el fet d'haver emès informes fins al moment, sobre 182 plans i programes sectorials, territorials i urbanístics (taula 20.5 i 20.6).

Més enllà del marc definit a l'avaluació ambiental estratègica, l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic ha col·laborat, des que va ser creada el 2006, en l'elaboració i desenvolupament de diferents plans i programes dins l'àmbit de la Generalitat de Catalunya. Aquesta col·laboració s'ha materialitzat en reunions i informes, segons cada cas. A vegades de manera bilateral amb el departament responsable, i d'altres en el si de la comissió interdepartamental corresponent. L'objectiu general ha estat la incorporació dins la planificació sectorial dels elements de canvi climàtic (mitigació i adaptació), tant els derivats de la política europea com aquells que responen a qüestions concretes del canvi climàtic a Catalunya.

TAULA 20.6. Nombre d'instruments de planejament urbanístic informats per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Generalitat de Catalunya, 2015)

Instrument urbanístic	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*
Plans d'ordenació urbanística municipal	0	0	7	10	15	22	21	0
Plans especials urbanístics	0	0	2	2	0	1	0	1
Plans parcials urbanístics	0	0	2	3	0	4	0	0
Modificacions de planejament general	0	0	2	6	5	1	2	1
Plans directores urbanístics	0	0	1	1	0	1	4	5
Total	0	0	14	22	20	29	27	7

* Dades no definitives, ja que són relatives a l'any en curs.

Bàsicament, s'ha col·laborat en la planificació relativa als àmbits següents: energia, àrids, mobilitat elèctrica, dejeccions ramaderes, forestal i aprofitaments de biomassa, turisme i infraestructures.

20.3.3. Edificació i usos residencials: evolució i estat actual

La materialització de l'espai urbà, és a dir, la urbanització, l'edificació i l'activitat humana vinculada a l'ús residencial, ha comportat el consum de grans quantitats de materials i d'energia que han resultat en una gran aportació de CO₂ a l'atmosfera. Per tant, el conjunt d'efectes del model urbà i de l'edificació va més enllà de la construcció de l'edifici. En aquest sentit, i com ja s'ha esmentat en apartats anteriors, l'eficiència dels models urbans té un paper molt important.

Tot i això, l'energia involucrada en la construcció d'un edifici és molt rellevant (segons el *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*, en un edifici d'habitatges convencional amb una vida útil estimada de cinquanta anys, les emissions de CO₂ equivalent generades per a produir-lo poden significar entre el 30 i el 40 % del total) i, per tant, és necessari dur a terme millores en l'eficiència, tant en edificis de nova construcció com en rehabilitacions.

Tot i que no disposem de dades actualitzades pel que fa a l'energia consumida en la fase de construcció dels edificis i, per tant, de les emissions de GEH que se'n deriven, sí que es pot afirmar que el sector de la fabricació de ciment és responsable de més del 22 % de les emissions de les instal·lacions localitzades a Catalunya subjectes a l'RCDDE l'any 2014, de manera que va ser el segon sector més emissor, per darrere del sector de la combustió (taula 20.7). Aquest fet respon a l'augment observat els dos darrers anys de les emissions de sectors industrials amb forta càrrega emissora (ciment i refinaria), mentre que la tendència a la baixa de les emissions associades a la generació elèctrica i les cogeneracions es manté.

Si s'analitza la tendència en el consum d'energia final per fonts i sectors a Catalunya, es pot veure que el consum de productes petrolífers i de gas natural ha disminuït lleugerament, mentre que el consum d'electricitat i d'energies renovables ha

augmentat en els darrers cinc anys. Tot i això, els derivats del petroli continuen sent, amb diferència, la font energètica més consumida, i les energies renovables representen poc més del 2 % del consum total (figura 20.4).

Per sectors, el domèstic continua sent el tercer sector més consumidor d'energia (figura 20.5), i ha experimentat un creixement de l'1,6 % durant el període 2005-2009. Les causes d'aquest increment són les noves exigències de confort, un nombre més gran de metres quadrats *per capita*, els nous equipaments de la llar i l'augment dels nivells de refrigeració.

Actualment, a les llars, més del 40 % del consum d'energia es deu a la climatització, sobretot per la calefacció, seguit pels electrodomèstics, l'ACS, la cuina i la il·luminació. La tendència des de l'any 2005 és d'un increment en consum destinat a la cuina, els electrodomèstics i la il·luminació, i una disminució en la climatització (figura 20.6).

Pel que fa les tipologies de fonts energètiques emprades en el sector domèstic, es pot veure que des de l'any 2005 ha disminuït la utilització dels productes derivats del petroli i del gas natural (aquest últim, en proporció respecte a les altres fonts, no en nombres absoluts, ja que ha augmentat molt lleugerament), mentre que l'ús d'energies renova-

TAULA 20.7. Evolució de les emissions 2005-2014 de GEH del sector industrial de fabricació de ciment (Direcció General de Qualitat Ambiental del Departament de Territori i Sostenibilitat, 2015)

Any	Emissions (t CO ₂ equiv.)	Emissions totals (%)
2005	6.314.544	31,5
2006	6.168.807	31,2
2007	6.025.335	30,2
2008	4.905.729	26,1
2009	3.916.174	23,6
2010	3.907.369	24,3
2011	3.175.199	20,3
2012	2.906.984	20,0
2013	2.120.116	16,1
2014	2.980.696	22,6

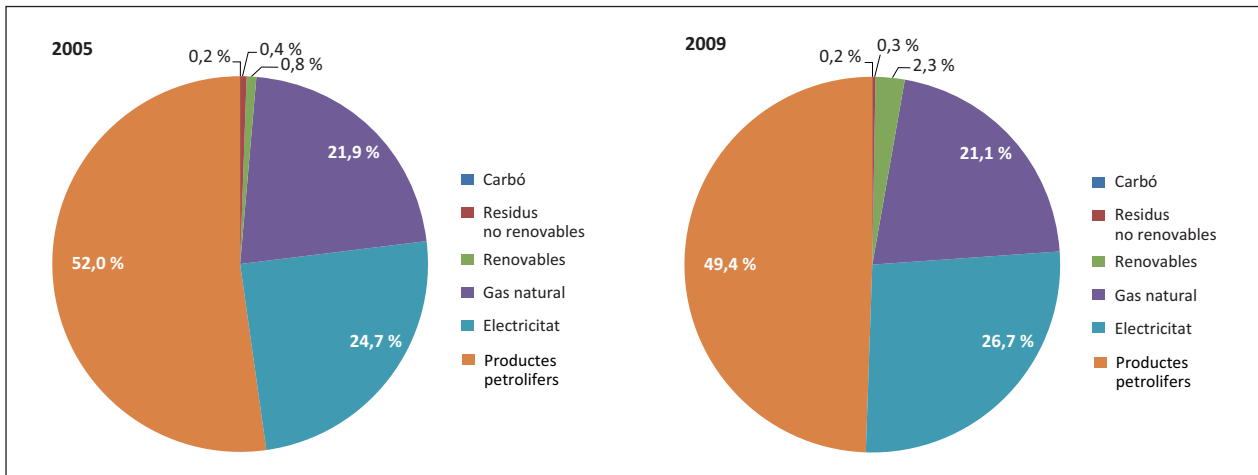


FIGURA 20.4. Consum d'energia final, per fonts, els anys 2005 i 2009 (Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020. Generalitat de Catalunya, 2012).

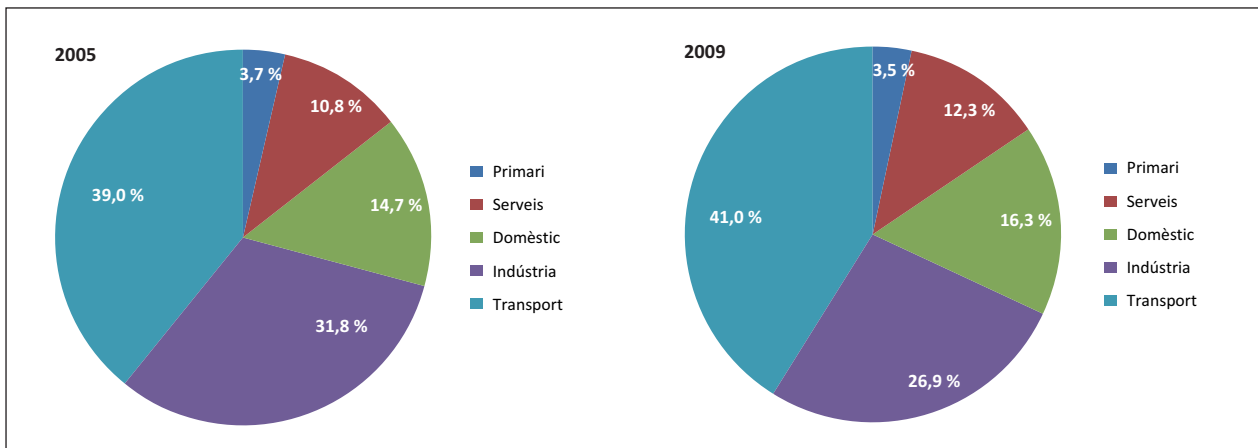


FIGURA 20.5. Consum d'energia final, per sectors, els anys 2005 i 2009 (Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020. Generalitat de Catalunya, 2012).

bles, però sobretot també l'ús d'electricitat, s'ha incrementat (figura 20.7).

Finalment, les emissions de GEH associades a aquest consum en el sector residencial l'any 2012 van representar el 6 % de les emissions totals a Catalunya i el 8 % en relació amb el total d'emissions associades al processament d'energia (OCCC, 2014). Això significa 2,6 milions de tones de CO₂ equivalent, conseqüència de l'ús de combustibles fòssils en el sector, en especial el gas natural. Aquesta quantitat representa el 59 % més si la comparem amb el 1990, el primer any de la sèrie, i un 4 % menys si la comparem amb el 2011, l'any anterior a les últimes dades disponibles.

Les emissions de GEH en aquest sector han augmentat progressivament, amb pics i valls, des del

1990, motivades per l'increment de la població i del nombre d'habitatges. Des del 1998, l'augment ha estat lineal i considerable, i el valor d'emissions del 2010 ha estat el màxim de tot el període en aquest sector, el qual està lligat a un descens de les temperatures. El 2011 hi va haver una baixada brusca de les emissions, d'un 25 %, perquè va ser un dels anys més càlids que s'han enregistrat a Catalunya (figura 20.8).

La Llei 2/2004, del 4 de juny, de millora de barris, àrees urbanes i viles, que requereixen una atenció especial i que va ser la primera política de regeneració urbana amb un marcat caràcter integral a Catalunya, ha significat, recentment, la posada en marxa d'un conjunt d'intervencions amb una incidència directa pel que fa a les emissions i la mitigació del canvi climàtic en els balanços de

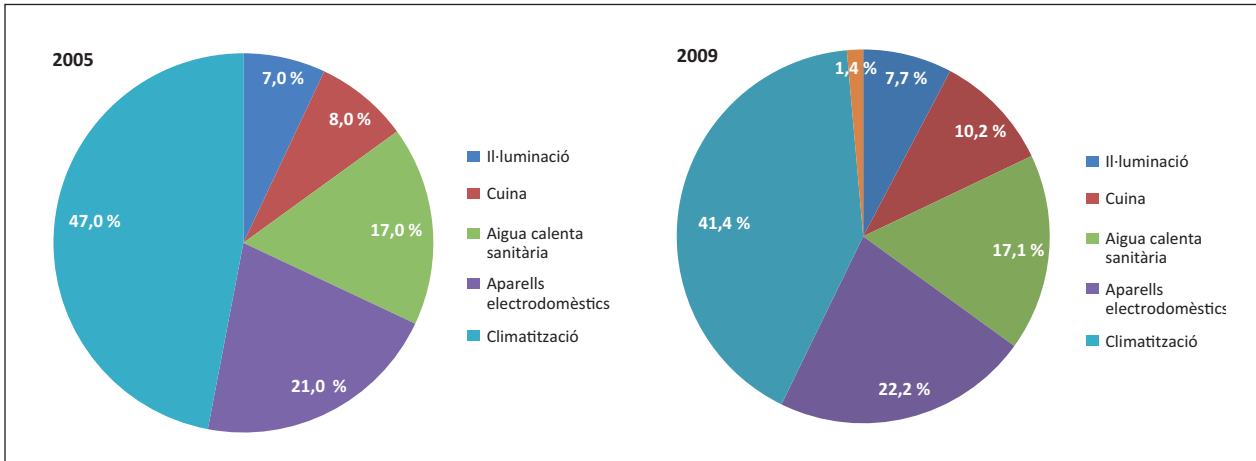


FIGURA 20.6. Distribució del consum d'energia a la llar els anys 2005 i 2009 (Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, 2005; ICAEN, 2015).

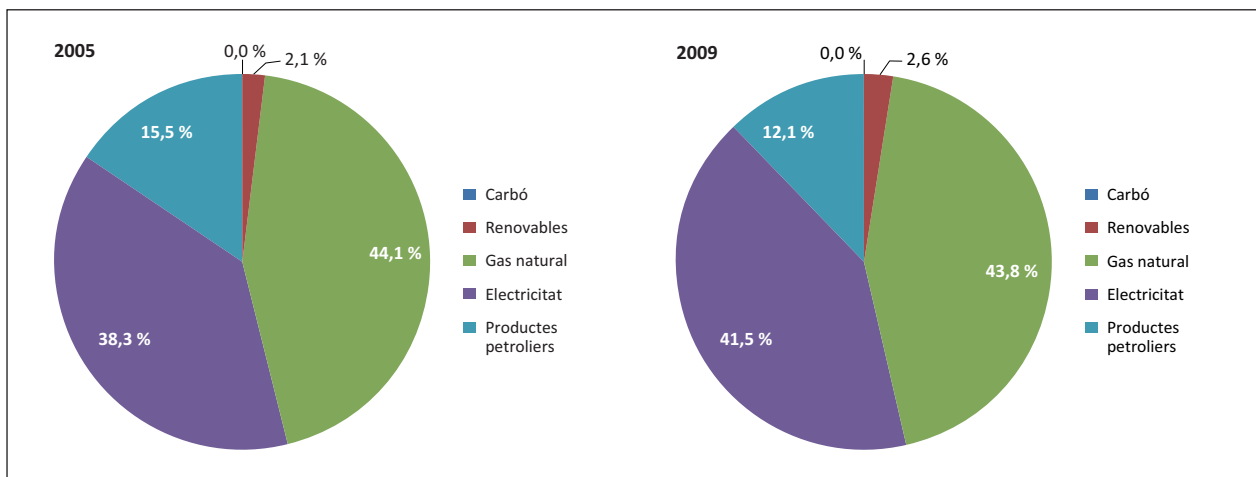


FIGURA 20.7. Consum d'energia final del sector domèstic, per fonts, els anys 2005 i 2009 (Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020. Generalitat de Catalunya, 2012).

CO₂ i d'altres gasos amb efecte d'hivernacle (taula 20.8).

Al llarg del període 2004-2010 es van desenvolupar un total de 143 projectes d'intervenció i 4 propostes de continuïtat per tal de millorar barris distribuïts en cent disset municipis. Cal remarcar que les actuacions de millora de l'espai públic i la dotació d'espais verds va rebre, en els primers cinc anys, al voltant d'un 45 % del total dels recursos pressupostaris.

Altres àmbits d'actuació en què l'aplicació de la Llei pot haver incidit en la reducció de les emissions de CO₂, per bé que no d'una manera directa, són, per exemple, el de la millora de l'accessibilitat i la supressió de les barreres arquitectòniques.

Tot i que l'objectiu d'aquest àmbit d'actuació és la millora que la qualitat de vida i l'adaptació dels recorreguts per a persones amb mobilitat reduïda, ha pogut incidir en una mobilitat més bona dels vianants i, per tant, ha afavorit que els ciutadans tinguin una dependència més baixa del vehicle privat. També l'àmbit del condicionament dels elements comuns de l'edificació pot tenir una incidència positiva a llarg termini pel que fa a la reducció de les emissions, gràcies a la rehabilitació de façanes i de teulades i les consegüents millores de l'aïllament i reduccions de les pèrdues tèrmiques dels edificis.

Es conclou, doncs, que la implementació de la Llei de barris ha tingut un impacte positiu en els balanços de CO₂ i d'altres gasos amb efecte d'hiverna-

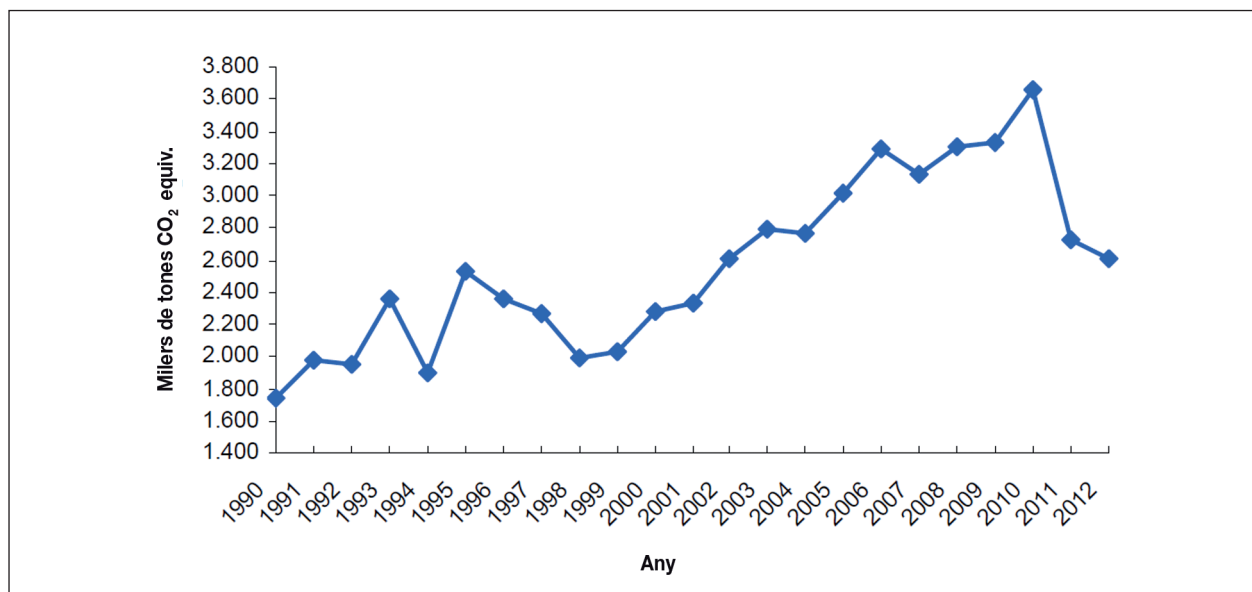


FIGURA 20.8. Tendència de les emissions de GEH en el sector residencial a Catalunya, del 1990 al 2012 (*Catalunya i els objectius de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Cinquè informe de progrés. Compliment del Protocol de Kyoto a Catalunya.* Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Generalitat de Catalunya, 2014).

cle i en la mitigació del canvi climàtic a Catalunya, especialment per la creació de nous espais verds que absorbeixen CO₂ a les ciutats i en milloren les condicions microclimàtiques. També per les millores urbanes en matèria de mobilitat que permeten una utilització menys freqüent del vehicle privat a favor dels vianants, les bicicletes i el transport públic.

També es destaquen les accions que pretenen aconseguir una sostenibilitat més adequada dels barris en què s'ha actuat. Aquestes mesures de caràcter divers comporten una reducció de les emissions de CO₂, ja sigui per la instal·lació de sistemes alternatius d'energia o per les millores de l'eficiència energètica, encara que també es notará un estalvi en els consums energètics mu-

TAULA 20.8. Àmbits d'intervenció de la Llei de barris amb una incidència directa en matèria de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya. Elaboració pròpia a partir de dades de la publicació *La Llei de barris. Una aposta col·lectiva per la cohesió social.* Departament de Política Territorial i Obres Públiques (2009)

Àmbits amb relació directa amb les emissions de gasos hivernacle	Intervencions dutes a terme en els primers cinc anys d'implantació de la Llei de barris (convocatòries 2004-2008)
<i>Millora de l'espai públic i provisió de zones verdes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 141 dotacions de zones verdes i espais de lleure (col·locació d'arbrat, enjardinament, etc.). • 62 operacions d'esponjament de nuclis massa densos per a guanyar espais lliures i il·luminació. • 232 actuacions de millora de la mobilitat (zona de vianants, pacificació del trànsit, camins escolars segurs, carrils bici, ampliació de voreres, etc.).
<i>Implantació i millora d'infraestructures energètiques i ambientals</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 83 actuacions de recollida selectiva, soterrament de contenidors i creació de minideixalleries i punts verds. • 52 accions de recuperació paisatgística sostenible (instal·lació d'horts urbans, creació d'itineraris per a vianants, etc.). • 143 programes de foment de la sostenibilitat i mesures d'eficiència energètica (instal·lació de sistemes alternatius de generació d'energia, instal·lació de sistemes d'estalvi en el consum d'aigua i aprofitament de les aigües pluvials i freàtiques).

nicipals per una menor necessitat de transportar aigües gràcies a la utilització de les aigües pluvials i freàtiques. Finalment, una gestió més adient dels residus permetrà augmentar el reciclatge de les diverses fraccions en detriment de la incineració o de la deposició en abocadors que impliquen emissions de CO₂ i d'altres gasos hivernacle a l'atmosfera.

Des del punt de vista normatiu i de planificació, la Generalitat de Catalunya va aprovar l'any 2006 el Decret 21/2006, del 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis, una primera actuació que preveia que tots els projectes d'edificació dels edificis que hi figuraven haguessin d'integrar criteris, sistemes constructius, tecnologies i mesures que fessin possible un desenvolupament sostenible del sector de l'edificació.

Actualment, la Generalitat està elaborant una llei sobre el canvi climàtic, la qual es troba en fase d'avantprojecte, que proposa mesures concretes de mitigació i d'adaptació, i l'aplicació d'una política fiscal en coordinació amb el món local per al sector de l'edificació. Cal destacar, per exemple, la proposta que els edificis nous i els existents sotmesos a una gran rehabilitació hauran de tenir un disseny que compleixi els requisits corresponents a un edifici de consum d'energia gairebé nul a l'hora de dur a terme sol·licitud de la llicència d'obres (a partir de l'1 de gener del 2019).

També cal destacar l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica d'Edificis, aprovada el 25 de febrer de 2014, que té per objectius, amb vista al 2020, la reducció del 14,4 % del consum estimat d'energia final del parc edificat residencial i terciari català i la reducció del 22 % de les emissions de CO₂ d'aquest parc, entre d'altres.

A més, organismes públics com el Consorci de l'Habitatge de Barcelona i l'Institut Català d'Energia (ICAEN), impulsen programes d'ajuts a l'eficiència i l'estalvi energètic en edificis (en el cas del Consorci, dins el Programa de Rehabilitació d'Edificis d'Ús Residencial i d'Habitatges a la Ciutat de Barcelona), amb l'objectiu d'incentivar i de promoure la realització d'actuacions de reforma que afavoreixin la reducció de les emissions de diòxid de carboni,

mitjançant l'estalvi energètic, la millora de l'eficiència energètica i l'aprofitament de les energies renovables.

20.4. Conclusions

El territori i la població són els principals receptors de les conseqüències del canvi climàtic. És el territori on els efectes del canvi climàtic repercuteixen en les espècies i els ecosistemes i, molt especialment, en la nostra espècie i els ecosistemes en què i dels quals vivim. Disposar d'un territori amb una biocapacitat alta, diversa i complexa pel que fa als continguts és essencial per a mantenir els actius de patrimoni natural, els serveis ecosistèmics, les propietats de la infraestructura verda i el desenvolupament de l'economia sostenible.

La biocapacitat és un concepte important a l'hora d'aproximar-se a les capacitats i les limitacions d'un territori, especialment si el valorem en el context d'una pertorbació de tipus global i d'efectes biòtics (ja siguin de valor ecològic, de valor de producció de béns orgànics, de provisió de serveis, de facilitar activitats i fluxos, d'aprofitament econòmic, etc.) com ho és el canvi climàtic.

Actualment disposem d'instruments valuosos a escala territorial i d'espais urbans per a afrontar la previsió dels efectes del canvi climàtic i d'actuar en l'adaptació i la mitigació a aquesta escala d'integració. Bàsicament, són instruments de planificació territorial (parcial i sectorial) i urbanística (amb diferents figures) i, consegüentment, amb un alt valor de prevenció, els quals, a més, es conjuminen amb l'instrument d'avaluació ambiental estratègica que aporten.

La posada en marxa d'aquesta planificació ha coincidit en el temps amb un canvi i una maduració de la visió i la interpretació del territori i, més recentment, de l'espai urbà, i ha estat proveïda, bàsicament, per l'ecologia territorial i urbana i la sostenibilitat. Gràcies a això, s'ha pogut disposar de noves, més sòlides i robustes, bases conceptuals i visions pel que fa a la comprensió de què són els territoris, el mosaic territorial, els espais protegits, els espais urbans i les interrelacions i fluxos que es duen a terme, així com de la capacitat d'ús econòmic i social sense malmetre els actius i les potencialitats, de manera que ni

els simplifiqui ni els banalitzï ni posi en risc la capacitat de prendre decisions, també en relació amb els escenaris del canvi climàtic i les repercussions que té.

Malgrat aquesta coincidència en el temps, els principis de la nova visió no han estat tinguts en compte amb la convicció suficient pel que fa a la planificació territorial i urbanística del país, i, a més, s'han tingut en compte de manera molt desigual al llarg del temps. La informació, el coneixement, l'habilitat i la competència tècnica i la dels tècnics especialistes, així com la capacitat de decidir i la d'implementar plans, també estan madurant. Cal que ens endinsem més i d'una manera més adient, i, fins i tot, que revisem algunes de les coses que hem fet i proposat, ja que el substrat (territori, espais urbans, biocapacitat, etc.) és canviant i la naturalesa del problema (el canvi climàtic) també ho és.

Tot i això, el canvi climàtic ha estat tingut en compte en les planificacions territorial i urbanística, i, per tant, són una primera acció que cal valorar positivament. Aquest capítol fa una revisió sintètica d'aquesta activitat per a facilitar la informació i també per a reconèixer l'esforç fet; ha estat un primer esforç que té encara molt camí per recórrer. Es tracta d'un recorregut que haurà de quedar evidenciat en els propers informes sobre el canvi climàtic a Catalunya i que haurà d'aportar dades i conclusions sobre l'estat en què es troba.

En conclusió, durant els darrers anys, hem avançat molt en la comprensió i visió del territori des dels conceptes i els criteris de què ens proveeix l'ecologia aplicada al territori i al paisatge. Ara, a més, també ho estem fent en relació amb els espais urbans mitjançant l'ecologia urbana. En els darrers anys, hem iniciat l'aplicació d'aquests conceptes i visions i hem dut a terme una activitat profusa de planificació ambiental i urbanística en la qual s'han incorporat, de manera desigual, determinacions pel que fa al canvi climàtic i els efectes que té. Cal progressar en aquesta línia de treball, però no hem d'oblidar que la feina feta és important i que les possibilitats de tenir en compte els efectes i, sobretot, les solucions pel que fa a un canvi de tanta magnitud com el climàtic són importants.

20.5. Recomanacions

En relació amb el que hem exposat, fem les recomanacions i propostes següents:

- Cal promoure la nova comprensió dels espais oberts en relació amb l'ecologia aplicada a l'àmbit acadèmic, professional i de l'Administració competent per tal de poder fer un salt endavant pel que fa a la visió del territori i de les potencialitats i limitacions que té, per a poder prendre millors decisions.
- Cal desenvolupar les estratègies de preservació i revisar els instruments de planificació territorial, en especial els que tenen a veure amb els espais protegits. Aquesta revisió ha de tenir en compte, com a eix central, els escenaris de canvi climàtic.
- És el moment de revisar a fons la legislació que regula els espais protegits (especialment desfasada) i establir d'una manera més adient la incorporació del canvi climàtic i dels efectes que té.
- Cal replantejar els instruments de protecció d'espais d'interès natural des d'una aproximació més estratègica, més ecològica i més eficient que l'actual. Cal incloure d'una manera destacada els conceptes de *pertorbació* i de *dinamisme*, els quals són clau per a abordar els efectes del canvi climàtic. Cal doncs, revisar la consideració del canvi climàtic en els plans especials de conservació d'espais protegits.
- Cal impulsar amb determinació la incorporació dels principis de l'ecologia urbana a la planificació, el disseny i la projectació dels espais urbans. Això implica la revisió de continguts acadèmics pel que fa a la formació dels professionals implicats i que no tenen aquesta formació. També cal incloure en els equips investigadors i experts professionals especialistes o altres experts en aquesta matèria. A més, s'han d'establir estructures (centres, instituts, departaments, etc.) i línies de treball que aprofundeixin en aquesta matèria a partir dels referents que existeixen actualment i que estan adaptats convenientment a la realitat de Catalunya.
- Cal revisar o refer les lleis de territori i d'urbanisme amb la finalitat de poder incorporar les visions més actuals pel que fa al territori i als espais urbans de què ens proveeix l'ecologia aplicada, i que ho facin de manera essencial i no addicional o sectorial.

- Cal revisar els apartats sobre el canvi climàtic en els plans territorials i sectorials i prospectar quina és la manera més adient de fer-los constar d'una manera més homogènia i eficient. Potser no cal abordar-ho com una revisió dels plans, sinó com un document específic que s'hi vinculi i que s'apliqui.
- Cal seguir madurant l'instrument de l'avaluació ambiental estratègica, especialment per a poder incorporar el canvi climàtic en els models territorials i, sobretot, urbanístics. Amb aquesta finalitat, cal tenir en compte el canvi climàtic en l'avaluació de les alternatives en instruments de planejament i valorar la bonesa de cadascuna amb relació a l'alliberament de CO₂.
- Per aquest motiu, cal que enfrontem dos aspectes fonamentals. D'una banda, l'estudi de l'alliberament de CO₂ en els plans generals que ja s'han dut a terme i, a partir dels resultats i de l'anàlisi de la situació de cada municipi (demografia, entorn ecològic, entorn social i activitat econòmica), determinar els límits que permetin objectivar la decisió en nous plans, incloure accions de millora en relació amb el canvi climàtic o creure positiu el model plantejat. De l'altra, cal establir els continguts mínims d'un pla en fase avançada per a poder aplicar l'eina de càlcul d'emissions de CO₂ prevista per a cada alternativa.

Referències bibliogràfiques

- CNUMAD = CONFERÈNCIA DE LES NACIONS UNIDES PER AL MEDI AMBIENT I EL DESENVOLUPAMENT (1992). *Conveni sobre la diversitat biològica*. Cimera de la Terra. Conferència de les Nacions Unides per al Medi Ambient i el Desenvolupament. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient.
- COMISSIÓ DE LA COMUNITAT EUROPEA (1998). *Sobre una estratègia de la Comunitat Europea en matèria de la biodiversitat*. Brussel·les: Comissió de la Comunitat Europea.
- CONSELL ASSESSOR PER AL DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE (2010). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya / Institut d'Estudis Catalans.
- DEPARTAMENT DE POLÍTICA TERRITORIAL I OBRES PÚBLIQUES (2009). *La Llei de barris: Una aposta col·lectiva per la cohesió social*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT (2010). *Avaluació de la Llei de barris en els municipis de la segona convocatòria: balanç positiu* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <<http://territori.gencat.cat/ca/detalls/Article/noticia-barris-01>> [Consulta: 31 març 2016].
- DIRECCIÓ GENERAL DE QUALITAT AMBIENTAL. DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT (2015). *Informes anuals verificats de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de les instal·lacions localitzades a Catalunya que estan subjectes al règim comunitari per al comerç de drets d'emissió (RCCDE): Període de notificació 2014*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- FORMAN, R. T. T. (1995). *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- (2014). *Urban ecology: Science of cities*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ICAEN = INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA (2012). *Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- MAYOR, X. (2006). *Estudi sobre la petjada ecològica de Catalunya i el seguiment de la participació de Catalunya en la xarxa global de petjada ecològica*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2012). *Anàlisi i prospectiva dels serveis ecosistèmics en relació a l'economia verda*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible.
- MAYOR, X. [et al.] (2009). *Estudi de recuperació paisatgística del riu Ripoll*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- MERINO NOÉ, J.; CAMPDEPADRÓS CULELL, R. (2015). «En quin moment està la Llei de barris a Catalunya?» *Àmbits de Política i Societat: Revista del Col·legi de Politòlegs i Sociòlegs de Catalunya* [en línia]. <<http://ambitscolpis.com/2015/01/19/en-quin-moment-esta-la-lei-de-barris-a-catalunya>> [Consulta: 31 març 2016].

- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005). *Ecosystems and human well-being: General synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- NEWMAN, P; BEATLEY, T.; BOYER, H. (2009). *Resilient cities: responding to peak oil and climate change*. Londres: Island Press.
- OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2015). *Avaluació de l'impacte de plans i programes sobre el canvi climàtic en el marc de l'avaluació ambiental estratègica*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- (2014). *Catalunya i els objectius de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle: Cinquè informe de progrés: Compliment del protocol de Kyoto a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- RELEA, F.; PRAT, A. (1998). *La petjada ecològica de Barcelona: Una aproximació*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona. Comissió de Medi Ambient i Serveis Urbans.
- TEEB = *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (2008). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: An interim report*. Brussel·les: Comunitat Europea.
- UNEP = *United Nations Environment Programme* (2011). *Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication*. Suïssa: UNEP.
- WACKERNAGEL, M.; REES, W. (1996). *Our ecological footprint, reducing human impact on the earth*. Canadà: The New Catalyst.
- WWF = *World Wildlife Fund* (2012). *Living Planet Report 2012: Biodiversity, biocapacity and better choices*. Suïssa: Zoological Society of London: Global Footprint Network: European Space Agency.

21 La interacció entre els sistemes naturals i els humans en les àrees més vulnerables al canvi climàtic: sistemes muntanyosos

Autors

Marta G. Rivera Ferre

Feliu López i Gelats

Bernat Claramunt

Marta G. Rivera Ferre és doctora en veterinària i ha dut a terme estades predoctorals i postdoctorals a la Universitat d'Aberdeen, a l'Institut de Recerca Alterra, a la Unitat de Sistemes Ecològics de la Universitat de Wageningen, a la Universitat Autònoma de Barcelona i al Centre de Recerca en Economia i Desenvolupament Agroalimentari (CREDA-UPC-IRTA). Des del 2014 és investigadora Ramón y Cajal a la Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya, on coordina la línia de recerca «Comunitats sostenibles, innovacions socials i territoris» del grup de recerca Societats, Polítiques i Comunitats Inclusives. És directora de la càtedra en agroecologia i sistemes alimentaris, i fonamentalment enfoca la investigació en l'anàlisi de la sostenibilitat dels sistemes alimentaris des d'una perspectiva interdisciplinària i en la sobirania alimentària, tot utilitzant com a marc analític el marc dels sistemes socioecològics complexos. Ha participat com a autora líder en dos panells de l'ONU: l'Avaluació Internacional del Paper del Coneixement, la Ciència i la Tecnologia en el Desenvolupament Agrícola (IAASTD; 2005-2008) i el Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC; 2010-2014).

Feliu López i Gelats és doctor en ciències ambientals i investigador postdoctoral a la Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya. Els darrers anys ha estat investigador i/o docent al CREDA-UPC-IRTA, i al Departament de Ciència Animal i dels Ali-

ments i a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB. També ha estat investigador visitant a la Universitat de Keele (Regne Unit), a la Universitat d'Aalborg (Dinamarca), a la Universitat de Greenwich (Regne Unit) i a la Universitat de Guelph (Canadà). Dins de la interfase entre natura i cultura, ha centrat la trajectòria en l'avaluació de la vulnerabilitat i la capacitat d'adaptació dels petits productors rurals al canvi global, molt especialment dels pastors i ramaders de regions de muntanya i regions àrides. Ha estat autor contribuent del capítol «Àrees rurals» del *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC. Darrerament, duu a terme una avaluació a escala mundial de la vulnerabilitat dels pastors.

Bernat Claramunt és investigador del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF) i professor titular d'ecologia al Departament de Biologia Vegetal, Biologia Animal i Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona. En la trajectòria científica, ha treballat en diversos àmbits de l'ecologia forestal i animal, en sistemes àrids i semiàrids d'arreu del món i en comunitats de muntanya. Darrerament, ha centrat les activitats al Pirineu, liderant projectes relacionats amb els efectes que el canvi global pot tenir en la comunitat alpina, tant amb relació a la distribució com a les interaccions entre les poblacions que hi habiten. Finalment, lidera diversos projectes de ciència ciutadana i participa en el desenvolupa-

ment de diverses eines que hi estan relacionades. Ha format part del Comitè Científic de l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (Acció Biodiversitat) fins al 2014; actualment forma part de la Xarxa Europea de

Defensa de la Recerca en Muntanya de la Iniciativa de Recerca en Muntanya (MRI), i és membre portaveu del CREAM a l'Euromontana.

Sumari

Síntesi	510
21.1. Introducció	511
21.2. Les muntanyes en un context europeu	511
21.3. La vulnerabilitat de la muntanya entesa com un sistema socioecològic complex	513
21.3.1. Què és un SES?	513
21.3.2. El marc de vulnerabilitat	514
21.3.3. El SES de la muntanya catalana.....	516
21.3.3.1. Exposició.....	516
21.3.3.2. Sensibilitat	519
21.3.3.3. Adaptació. Experiències pràctiques d'adaptació als sistemes de muntanya.....	520
21.4. Escenaris de futur per a les muntanyes	522
21.4.1. Els diversos marcs mentals que coexisteixen a les muntanyes.....	522
21.4.2. Escenaris d'adaptació a les muntanyes.....	522
21.4.2.1. Cogestió.....	523
21.4.2.2. Intensificació	523
21.4.2.3. Innovació social	523
21.4.2.4. Bioeconomia.....	525
21.4.2.5. Diversificació.....	525
21.5. Conclusions	526
21.6. Recomanacions	526
Referències bibliogràfiques	527

Síntesi

Per a la majoria de la població, la paraula *muntanya* evoca imatges relacionades amb l'excursionisme, l'esquí, les vaques, el formatge, l'aire fresc i/o la neu. Tanmateix, les muntanyes són més que no pas un entorn bucòlic amb granges i excursions familiars. Les muntanyes proveeixen serveis ecosistèmics i altres serveis que són vitals per a tota la població, fins i tot la que habita a la plana. De fet, la qualitat de vida de gairebé tota la població depèn, en bona part, dels béns i els serveis que les muntanyes ofereixen. El nombre d'habitants de les muntanyes ha minvat notablement i s'ha concentrat a les valls, les glaceres estan desapareixent, la població s'envelleix, l'hivern s'escurça, etc., i el canvi climàtic és un factor important en molts dels canvis a què les muntanyes s'enfronten. Aquest capítol ofereix una visió conjunta dels sistemes de muntanya, prenent com a model el Pirineu cata-

là, en el qual no només es té en compte quin és l'efecte del canvi climàtic sobre els sistemes naturals, sinó que l'espècie humana hi és present a cada moment, com a agent i com a factor de canvi. L'anàlisi dels diferents elements i factors, i les interaccions i els resultats, ens permet entreveure, a partir dels diversos desitjos i interessos que té la població pirinenca, els possibles escenaris de futur de les muntanyes catalanes. Al final del capítol es fa evident que no hi ha solucions màgiques, i que la gestió del territori a l'hora d'afrontar el canvi climàtic demana prioritzacions i renúncies. Qui llegeixi aquest capítol podrà veure (i decidir) quin és l'escenari de futur que voldria i quins aspectes relacionats amb les muntanyes en surten beneficiats o perjudicats.

Paraules clau

sistema socioecològic complex, muntanya, vulnerabilitat, adaptació

21.1. Introducció

En aquest capítol s'ha dut a terme un exercici de conceptualització diferent dels dels altres capítols d'aquest INFORME. Així, hom podria pensar que un capítol d'un informe sobre el canvi climàtic a les zones de muntanya repassaria, un per un, els efectes que aquest canvi de les condicions ambientals ha tingut en diferents aspectes de la muntanya. I si bé això, evidentment, es té en compte, l'aproximació ha estat una altra. Per a la redacció del capítol 21 s'ha optat per una aproximació holística per a analitzar els sistemes de muntanya de Catalunya, de manera que s'han superat les fragmentacions en disciplines científiques típiques d'aquests tipus d'informes. S'ha pres el Pirineu com a base del capítol. Val a dir, però, que aquesta tria no s'ha fet per menystenir la resta de zones de muntanya de Catalunya, que en són moltes, sinó pel fet que del Pirineu és d'on es disposa de més informació. Tampoc no és la intenció dels autors menystenir treballs amb continguts similars —tot i que aproximacions diferents— realitzats en àmbits més locals com, per exemple, el treball extraordinari realitzat per la Institució Catalana d'Història Natural a la vall d'Alinyà (Germain Otzet, 2004) o alguns treballs de recerca (tesis doctorals, articles científics, etc.) centrats en valls concretes. La generalització expressa dels conceptes perquè siguin mínimament adequats a un territori tan heterogeni com el Pirineu obliga a renunciar sense remei a detalls i característiques més locals, malgrat s'han utilitzat com a exemples en diverses parts del capítol. El lector ha de tenir clar que aquest capítol no té la intenció de ser una revisió de tot el que se sap del Pirineu fins al present, sinó que, d'una banda, és una actualització del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*, i, de l'altra, recull informació de la resta de capítols d'aquest INFORME, afegeix la que hi manca, i l'emmarca en una nova conceptualització interdisciplinària. L'objectiu és mostrar la complexitat dels socioecosistemes i com afecta la presa de decisions, a més d'aportar, des de la ciència, noves eines als decisors polítics amb relació al canvi climàtic. Així, el capítol 21 proposa entendre el Pirineu com un sistema socioecològic (a partir d'ara, SES) complex, és a dir, un sistema en el qual societat i natura conviuen braç a braç des de fa molts anys i, per tant, un sistema que no es pot entendre sense tenir en compte les interaccions que es produeixen entre tots dos actors. El

capítol, doncs, s'estructura d'acord amb els apartats següents. L'apartat 21.2 és una breu introducció a les muntanyes europees en la qual exposem les particularitats amb relació al canvi climàtic que fan que les muntanyes siguin especialment interessants per a redactar un capítol específic. L'apartat 21.3 i tots els seus subapartats se centren en la descripció de les muntanyes com un SES. Així, als apartats 21.3.1 i 21.3.2 es presenta el marc conceptual, en el qual defineix els conceptes de SES i *vulnerabilitat*, i la relació que mantenen. A l'apartat següent hi ha desenvolupada amb detall la descripció del Pirineu sota aquest marc conceptual. Un cop finalitzada la descripció de la manera com els diferents elements de les zones de muntanya es relacionen entre si i s'adapten al canvi climàtic, l'apartat 21.4 se centra en la proposta d'escenaris de futur i possibles alternatives d'adaptació. Per a això, s'han tingut en compte els diversos marcs mentals que conviuen entre els habitants dels Pirineus, les diverses prioritats de desenvolupament futur que cada un dels marcs identificats proposa i els efectes esperats de cada un sobre els elements del SES muntanya. L'anàlisi de les diverses estratègies d'adaptació i els resultats que potencialment es produeixen mostren la complexitat de la gestió dels socioecosistemes muntanyencs i suggereix valentia i capacitat d'escoltar i aprendre als gestors a l'hora de prendre unes decisions en un context en què mai no serà possible optimitzar-ne tots els elements.

21.2. Les muntanyes en un context europeu

La majoria dels europeus vivim en ciutats i la major part de les nostres ciutats més grans són lluny de les muntanyes, que normalment considerem destinacions d'esbarjo. No obstant això, les muntanyes són importants per a tota la població, no solament com a destinacions turístiques, sinó pels béns i serveis que proporcionen. A Europa, les muntanyes cobreixen el 36 % de la superfície. Es troben des de l'Àrtic fins a la Mediterrània, de l'Atlàntic als Carpats i a la mar Negra i en moltes illes. A la Unió Europea, les muntanyes cobreixen una quarta part d'Eslovènia, Àustria i Grècia; i també més de la meitat d'Itàlia, Eslovàquia, Espanya i Catalunya. Una sisena part de la població europea (16,6 %: 115 milions de persones) viu a les muntanyes. Malgrat aquesta densitat relativament baixa, cal tenir present que les muntanyes no solament són

regions remotes i poc habitades; també inclouen molts pobles i petites ciutats que han estat, històricament, indrets clau per al comerç i la indústria, i també bressols culturals.

Molts dels béns i els serveis ecosistèmics que proporcionen les muntanyes són vitals per a tota la població. Les muntanyes són, per exemple, torres de recursos hídrics que aporten quantitats ingents d'aigua a les zones baixes i ja fa més d'un segle que la indústria de l'energia n'aprofita aquesta característica per mitjà de la construcció de centrals hidroelèctriques (Sánchez Villanova, 2012). Les muntanyes presenten, també, una gran varietat de paisatges culturals i naturals que, fruit de la coevolució entre persones i ecosistemes durant segles o mil·lennis, continuen canviant (Darier *et al.*, 2006; Sancho, 2011). Així, els boscos —que cobreixen el 41 % de la superfície de les muntanyes d'Europa i més de la meitat dels Carpats, les muntanyes mitjanes d'Europa central, els Balcans, al sud-est d'Europa, els Alps i els Pirineus— s'estan expandint en totes les zones de la muntanya i, a excepció de les muntanyes nòrdiques, són la cobertura de sòl dominant (EEA, 2010). Aquests boscos produeixen béns com ara fusta, bolets o fruites; i serveis com ara recreació, actius turístics i protecció davant de riscos naturals, ja siguin esllavissades, inundacions o bé desprendiments de roques.

Les pastures i les terres de cultiu també són un ús del sòl molt rellevant a les muntanyes, i cobreixen prop d'una quarta part de les muntanyes del sud-est de l'Europa central i proporcions importants en altres massissos. Tenen un rol molt destacat en la producció d'aliments i, molt especialment, de productes d'un valor afegit elevat, com ara formatges i carns, estretament vinculats a les tradicions culturals i a l'alta qualitat ecològica dels ambients de muntanya. Aquesta mena de produccions tenen un valor incalculable per a la dinamització present i futura de les zones de muntanya i, per tant, esdevenen un actiu fonamental per a la fixació de la població en aquests territoris. Cal constatar, també, l'elevat atractiu que aquests paisatges agrícoles i els boscos adjacents tenen per als turistes. A més a més, tant els boscos com les pastures contribueixen a la mitigació del canvi climàtic, i és particularment rellevant el paper com a embornals de carboni (Smith *et al.*, 2014).

Els paisatges de muntanya tenen una biodiversitat elevada. De fet, la major part dels «punts calents» de biodiversitat del continent cal cercar-los a regions muntanyoses. Tot i que els ecosistemes alpins, per sobre de la línia d'arbres, cobreixen només el 3 % de la superfície d'Europa, contenen el 20 % de les plantes vasculares natives. Més avall, les pastures de muntanya també presenten una biodiversitat notable, a conseqüència de segles d'intervenció de les persones i el bestiar, i es consideren dels hàbitats més rics del món en espècies, comparables, fins i tot, als boscs tropicals (Wilson *et al.*, 2012). La meitat de les terres agrícoles de valor natural alt d'Europa s'associen a l'agricultura de baixa intensitat (molt especialment al pasturatge) i es troben a les zones de muntanya. Alhora, les muntanyes també són hàbitats imprescindibles d'espècies «insígnia» (grans carnívors i herbívors), que han vist que l'abandonament de terres i l'ampliació dels boscos en facilitaven l'expansió.

Catalunya és un país de muntanya i, malgrat que el Pirineu n'és el màxim exponent, cal no oblidar les serralades Prelitoral i Litoral, protagonistes del sistema Mediterrani Català i amb muntanyes que tenen perfil propi com ara el Montseny, Montserrat, la serra de Prades o els ports de Beseit. Dels cims més alts de Catalunya, una bona desena superen els 3.000 m i més de cinquanta es troben per sobre dels 2.500 m. Podem destacar-ne els més coneguts, com ara la pica d'Estats (3.143 m), els Besiberis (3.023 i 3.008 m), el Peguera (2.982 m), el gran tuc de Colomers (2.933 m), el Carlit (2.921 m), el Puigpedrós (2.914 m) i el Puigmal (2.910 m). Així, tot i que fa de mal dir a partir de quina elevació ens podem considerar en una zona de muntanya o no, es pot considerar fàcilment que d'un 30 % a un 50 % de la superfície de Catalunya es troba en zona muntanyosa. Com a la resta d'Europa, i malgrat la rellevància i la potencialitat d'aquestes regions, les muntanyes catalanes s'exposen a tot un seguit de transformacions ecològiques, demogràfiques, culturals i econòmiques amb implicacions molt sovint incertes, algunes de les quals potencialment negatives. A tots aquests canvis de base cal afegir-hi els efectes provocats pel canvi climàtic. En un país tan muntanyós com Catalunya, el que s'esdevingui a les muntanyes serà clau per a la resta de territori.

21.3. La vulnerabilitat de la muntanya entesa com un sistema socioecològic complex

Durant molt de temps, acadèmics de múltiples disciplines han estat interessats en la comprensió de com es relacionen natura i societat. Tradicionalment, han estat els geògrafs socials, dels quals a Catalunya tenim molt bons exemples, els que han liderat aquest tipus d'aproximacions. Aquest interès creixent i, sobretot, la conceptualització han provocat l'aparició d'una nova aproximació científica, coneguda com a *ciència de la sostenibilitat*. Es tracta d'una disciplina centrada en l'estudi i la comprensió de les dinàmiques i les interaccions entre els sistemes humans i els naturals (anomenats *sistemes socioecològics* o *socioecosistemes*; SES), que té com a objectiu facilitar el disseny, la implementació i l'avaluació d'intervencions pràctiques per a promoure la sostenibilitat d'indrets i contextos específics (Clark *et al.*, 2003; Komiyama *et al.*, 2006; Kate, 2001). La hipòtesi de partida és que no és possible entendre les dinàmiques de les activitats humanes i dels canvis ecològics si no tenim en compte com es relacionen. Entendre això és clau per a desenvolupar alternatives de gestió més sostenibles i justes. Així, hom no es pregunta com pot gestionar la societat més bé els recursos naturals, sinó com es pot fer perquè aquests SES, que inclouen natura i societat, siguin més robustos, més resilients.

En aquest capítol proposem anar una mica més enllà de l'ús únic de l'aproximació del SES i suggerim, com a marc conceptual, la integració d'aquesta aproximació socioecosistèmica amb la de la vulnerabilitat, com proposa Vallejo *et al.* (2015). Bo i prenent com a model el Pirineu, els objectius són: a) analitzar les regions de muntanya de Catalunya des d'un punt de vista holístic, tot integrant aquestes dues conceptualitzacions, i b) identificar les tendències i les conseqüències que diferents escenaris de futur¹ poden tenir en aquestes regions del nostre territori tan robustes i fràgils a la vegada. A més, això ens permetrà entendre: I) el paper del canvi climàtic en la configuració actual i futura

1. Per a poder desenvolupar escenaris de futur més robustos per a l'objectiu d'aquest capítol, hauria estat més convenient dur a terme un procés participatiu amb els actors implicats amb el SES de muntanya.

de les muntanyes, II) la relació amb els diferents elements del sistema, que inclouen tant la població humana com les prioritzacions, i III) les interaccions amb altres motors de canvi. Els apartats següents defineixen el marc conceptual d'aquest capítol amb una mica més de detall (21.3.1 i 21.3.2) i, tot seguit, el contextualitzen al Pirineu (21.3.3).

21.3.1. Què és un SES?

La eina principal d'anàlisi dels sistemes socioecològics complexos és l'anomenat *marc SES*. Aquest marc va ser desenvolupat per la Premi Nobel Elinor Ostrom, politòloga i economista de formació, per a proporcionar un llenguatge global comú entre les ciències socials i les ciències naturals per a l'anàlisi de la manera com les interaccions entre una varietat de factors afecten els resultats del sistema que és objecte d'estudi. Es tracta, doncs, d'un marc conceptual molt útil per a dur a terme diagnòs, ja sigui d'estats actuals com d'escenaris de futur. La característica principal d'aquest marc és que l'anàlisi de la realitat no es duu a terme fragmentant-la en diferents parts per analitzar-les separadament i, finalment, tornar a recompondre el conjunt; sinó que tot el sistema és analitzat d'una manera integral des de bon començament, i se centra l'atenció en la identificació i la comprensió de les interaccions entre els diferents elements del sistema.

El SES identifica quatre elements principals (figura 21.1): dos de lligats als sistemes naturals, els *recursos del sistema* (RS) i els *serveis i unitats dels recursos* (RSU); i dos de lligats als sistemes socials, el *sistema de governança* (GS) i els *actors* (A). Aquests elements són afectats pels anomenats *motors de canvi*, que són elements que afecten el sistema tot i ser-ne externs. Es tracta dels *motors socials, econòmics i polítics* (S), i els *motors ecològics* (ECO), que per mitjà de diferents *interaccions* (I) amb els elements del socioecosistema, són clau per a definir-ne les tendències. Fruit d'aquestes interaccions s'esdevenen uns *resultats* (O), que són els nostres objectius de sostenibilitat. Són precisament aquests resultats el que cal analitzar per a visualitzar les possibilitats d'actuació dins de l'àmbit polític i de recerca.

Cadascun dels elements del SES és format per diferents nivells. El primer nivell el conformen els

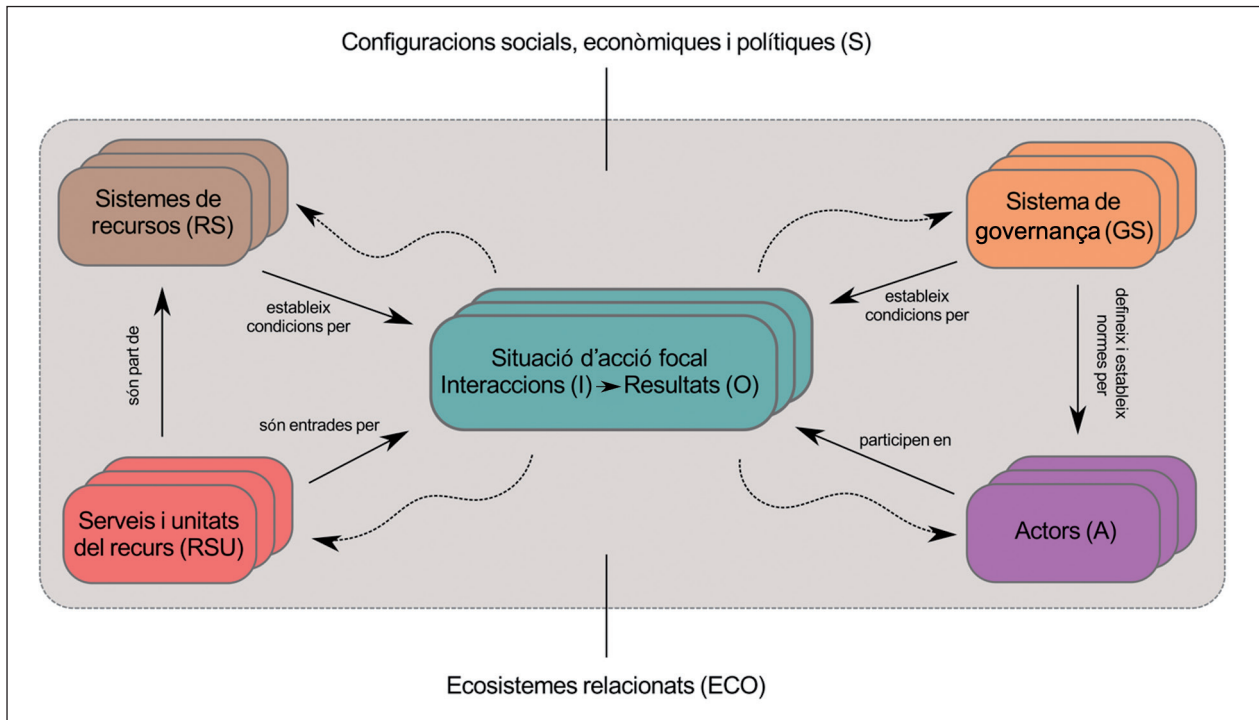


FIGURA 21.1. Els components principals del marc SES.

Font: McGinnis, 2014.

elements abans esmentats (RS, RSU, GS, A, S, ECO, I i O); el segon nivell és definit pels factors que caracteritzen aquests elements i que hem de tenir en compte per a estudiar el SES (taula 21.1). És important entendre que no tots els factors llistats a la taula han de formar part d'un mateix SES, sinó que es tracta de les diferents possibilitats que es poden trobar en qualsevol SES i, per tant, faciliten una primera definició de cada SES determinat. Els elements a partir del tercer nivell són constituïts pels indicadors definits per nosaltres mateixos i ens han d'ajudar a comprendre el nostre SES.

Dins del marc SES és molt important entendre que el sistema social, caracteritzat pels elements GS, A i S, i les situacions d'acció focal (I, O), depèn dels marcs mentals que el defineixen (Pahl-Wostl, 2007). D'aquesta manera, contextos socioeconòmics diferents, és a dir, interessos i valors diferents, contribueixen a desenvolupar SES diferents, perquè interaccions diferents entre els elements poden generar resultats divergents. Una millor comprensió d'això és clau en un context de canvi climàtic i permet tenir present que les mesures d'adaptació que s'implementen formen part de marcs mentals específics. A fi de tenir en compte els diferents

marcs mentals que coexisteixen actualment entre la població local a les muntanyes catalanes, en aquest capítol s'utilitzen els diferents discursos de desenvolupament (vegeu l'apartat 21.4.1) que coexisteixen a les zones de muntanya de Catalunya, particularment als Pirineus, i que foren identificats per López-i-Gelats *et al.* (2009).

21.3.2. El marc de vulnerabilitat

La noció de *vulnerabilitat* és un intent més de conceptualitzar la relació entre la natura i la societat. Aquest concepte s'ha utilitzat per a emfatitzar-ne la vessant biofísica (White, 1973), social (Sen, 1981) o ecològica (Gunderson *et al.*, 2001). En aquest capítol s'empra una noció integrada de vulnerabilitat en coherència amb el marc SES, que inclou tant elements climàtics com no climàtics, i que es coneix com a *vulnerabilitat contextual* (Field *et al.*, 2014). Dins d'aquesta tradició de pensament hi ha un consens a identificar l'*exposició*, la *sensibilitat* i l'*adaptació* com les tres dimensions fonamentals de la vulnerabilitat (Adger, 2006; Gallopín, 2006). Per *exposició* s'entén el grau de transformació o perturbació originades pels motors de canvi (S i ECO) del sistema socioecològic en qüestió (en aquest cas, les muntanyes catalanes). La *sensibi-*

TAULA 21.1. Variables de segon nivell en els components centrals de primer nivell d'un SES

Configuracions socials, econòmiques i polítiques (S)	
S1. Desenvolupament econòmic; S2. Tendències demogràfiques; S3. Estabilitat política; S4. Polítiques governamentals sobre recursos; S5. Incentius de mercat; S6. Organització dels mitjans	
Sistema de recursos (RS)	Sistema de governança (GS)
RS1. Sector (p. ex., aigua, bosc, pastura, pesca)	GS1. Organitzacions governamentals
RS2. Claredat dels límits del sistema	GS2. Organitzacions no governamentals
RS3. Mida del recurs	GS3. Xarxes
RS4. Infraestructures construïdes	GS4. Sistema de drets de propietat
RS5. Productivitat del sistema	GS5. Regles operacionals
RS6. Propietats d'equilibri	GS6. Regles d'elecció col·lectiva
RS7. Predicció de la dinàmica del sistema	GS7. Regles constitucionals
RS8. Característiques d'emmagatzematge	GS8. Regles de monitoratge i sanció
RS9. Localització	
Serveis i unitats del recurs (RSU)	Actors (A)
RU1. Mobilitat de les unitats del recurs	A1. Nombre d'actors
RU2. Creixement o taxa de substitució	A2. Atributs socioeconòmics dels actors
RU3. Interacció entre unitats del recurs	A3. Història d'ús
RU4. Valor econòmic	A4. Localització
RU5. Nombre d'unitats	A5. Lideratge/emprenedoria
RU6. Marques distintives	A6. Normes (confiança-reciprocitat) / capital social
RU7. Distribució espacial i temporal	A7. Coneixement del SES / models mentals
	A8. Importància del recurs (dependència)
	A9. Tecnologia utilitzada
Situacions d'acció focal: Interaccions (I) → Resultats (O)	
I1. Nivells d'explotació	O1. Mesures socials (p. ex., equitat, eficiència, passar comptes, sostenibilitat)
I2. Intercanvi d'informació	
I3. Processos de deliberació	O2. Mesures ecològiques (p. ex., sobreexplotació, resiliència, biodiversitat, sostenibilitat)
I4. Conflictes	
I5. Activitats d'inversió	O3. Externalitats d'altres SES
I6. Activitats d'influència	
I7. Activitats d'autoorganització	
I8. Activitats de <i>networking</i>	
I9. Activitats de monitoratge	
Ecosistemes relacionats (ECO)	
ECO1. Patrons climàtics; ECO2. Patrons de contaminació; ECO3. Fluxos dins i fora del SES focal	

Font: Adaptat de McGinnis (2014).

litat és el grau d'afectació del sistema a causa de les perturbacions, és a dir, la mesura de l'impacte que tenen les transformacions damunt dites a les zones de muntanya (I) i, més concretament, als seus elements (GS, A, RS i RSU), cosa que genera diversos resultats (O). En aquest apartat es para esment en si aquests impactes comporten un increment o una disminució dels diferents elements del SES muntanya. Finalment, l'*adaptació* és la capacitat del SES de respondre als impactes que s'esdevenen, sigui per a evitar danys o per a generar beneficis.

21.3.3. El SES de la muntanya catalana

En els darrers decennis, especialment a partir de la segona meitat del segle xx, les muntanyes europees han estat exposades a una multitud de motors de canvi que han comportat diverses transformacions. Així, el canvi climàtic s'afegeix a tot un seguit de transformacions socioeconòmiques i ecològiques que, en bona part, han estat conseqüència de la integració de les zones de muntanya a un sistema econòmic global. Això ha implicat no solament la inundació d'elements externs a les cultures locals, sinó també que les regions muntanyoses han hagut de respondre i integrar-se a dinàmiques socioeconòmiques que transcendeixen àmpliament les fronteres tradicionals. En són exemples la integració de les economies rurals de muntanya en una economia de mercat globalitzada (taula 21.1, S1); diversos moviments poblacionals, tant d'emigració com d'immigració (S2); una ambientalització gradual de les polítiques rurals (S4); un replantejament creixent de les ajudes a la producció agrícola, fonamentalment les que depenen de la política agrària europea (S4); una reforestació continuada d'antigues terres agrícoles (S4); el sorgiment de noves demandes i interessos sobre l'espai rural, ja siguin recreatius, paisatgístics, conservacionistes o culturals, per mitjà d'un procés de patrimonialització creixent del camp (S5), i, finalment, la terciarització de les economies rurals (S1) (Caraveli, 2000; MacDonald *et al.*, 2000; Mitchley, 2006; Vaccaro *et al.*, 2007; Guirado, 2011; Sancho, 2011). En conseqüència, aquestes regions es troben immerses en un procés d'adaptació a totes aquestes transformacions, a les quals cal afegir el canvi climàtic (ECO1) com un motor de canvi que ja sabem que tindrà conseqüències molt importants.

La interacció dels motors de canvi amb els quatre elements del SES en diferents contextos ens donaran diferents graus de vulnerabilitat i diferents capacitats i necessitats d'adaptació al canvi climàtic. En els apartats següents descriurem les transformacions i els impactes observats a les muntanyes catalanes, integrant els marcs SES i la vulnerabilitat, i desglossant les tres dimensions fonamentals de la vulnerabilitat (exposició, sensibilitat i adaptació) en funció dels elements del SES.

21.3.3.1. Exposició

L'exposició d'un SES agrupa tots els elements que, d'una manera general, el defineixen. L'exposició inclou tant els factors biòtics com els abiòtics i, de la mateixa manera, incorpora tant les variables relacionades directament amb l'acció i les decisions de les persones com les variables que tenen un origen no antròpic. És a dir, incorpora els motors de canvi S i ECO del marc SES. Cal entendre l'exposició, doncs, com una classificació que ens permet definir i descriure el nostre SES, les muntanyes catalanes, utilitzant-ne els dos primers nivells. A continuació, n'enumerem i en comentem breument els elements més importants per a entendre'n la configuració actual (figura 21.2).

Pel que fa als motors de canvi ecològics (ECO), el canvi climàtic ja s'ha expressat àmpliament a les muntanyes catalanes, especialment al Pirineu, on la desaparició de la neu permanent (RU7) n'ha esdevingut una de les mostres més clares. Aquesta desaparició és el resultat d'un augment de les temperatures (ECO1) durant l'estiu, sobretot de les màximes. A més a més, també es produeix un cert escurçament de l'hivern (ECO1), que no solament afecta el turisme d'hivern (A1), sinó també, com veurem més endavant, les comunitats naturals (RS1, RS2).

L'hivern no és, però, l'única estació en què les temperatures augmenten i, de fet, és a l'estiu que aquest augment és més gran. L'estiu també és l'estació en què la precipitació disminueix d'una manera més notable (ECO1). Això, juntament amb l'augment de la temperatura estiuenca, incrementarà l'evapotranspiració i, per tant, agreujarà els problemes de sequera precisament en l'estació més seca (RS7). Al mateix temps, caldrà veure si la disminució de la precipitació a l'hivern serà en

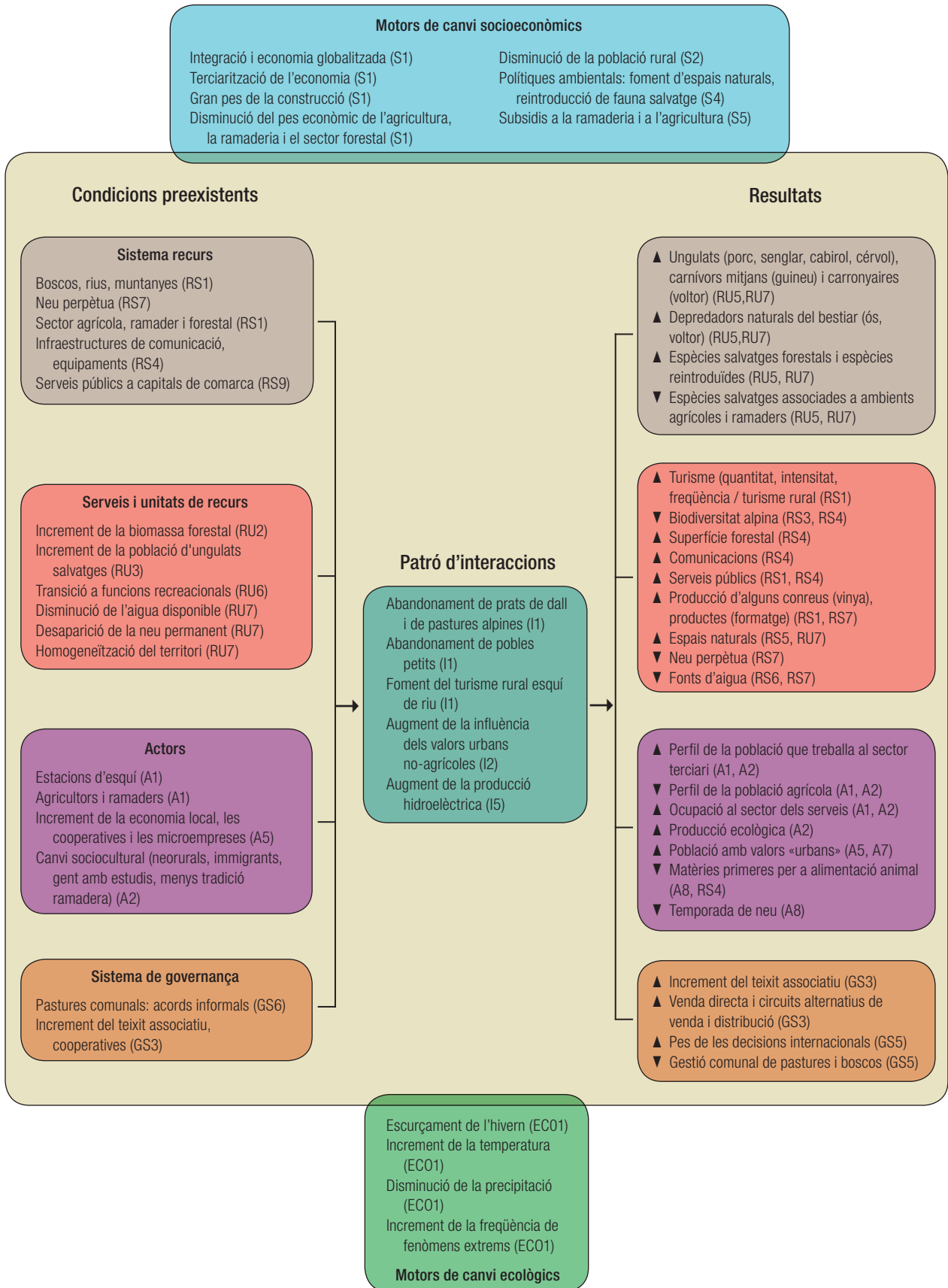


FIGURA 21.2. Les muntanyes catalanes com a sistema socioecològic complex i la dinàmica: les interaccions i els resultats són conseqüència de les transformacions experimentades pel socioecosistema i la sensibilitat a aquestes transformacions.

forma de neu, fet que faria disminuir la quantitat d'aigua «emmagatzemada» a les muntanyes (RS7, RS8). Els models prediuen un canvi en el règim de les precipitacions cap a un nombre més petit d'esdeveniments, però amb una intensitat més gran. A les muntanyes, aquest increment de fenòmens extrems (ECO1) pot augmentar el risc d'esllavissades, inundacions i/o allaus.

Pel que fa als motors de canvi socials, econòmics i polítics (S) a les muntanyes catalanes, han afavorit transformacions dins del SES en tres àmbits. Les transformacions econòmiques més remarcables deriven d'una terciarització creixent de l'economia (S1) cap al sector dels serveis, molt centrada en el sector turístic (RS1), especialment de pistes d'esquí i de riu, però també el rural (Laguna Marín-Yaseli *et al.*, 2003; García-Martínez *et al.*, 2009; Guirado, 2011; López-i-Gelats *et al.*, 2011; Sancho, 2011). D'altra banda, fins a l'arribada de la crisi econòmica el sector de la construcció s'havia expandit molt a les zones de muntanya (S1), tot i que darrerament és un sector que es troba tan estancat com en altres zones del nostre territori. En aquest àmbit, però, cal destacar el desenvolupament d'infraestructures de comunicació (com ara carreteres o xarxes digitals —Wi-Fi—), que apropen les zones de muntanya, tradicionalment molt aïllades, a Barcelona i a altres centres urbans i econòmics; i el desenvolupament d'equipaments (com, per exemple, poliesportius) (RS4). Aquests canvis econòmics s'han esdevingut paral·lelament i inversament a la pèrdua de pes econòmic de l'agricultura, la ramaderia i el sector forestal (RS1). A conseqüència de la dificultat creixent del sector agropecuari de muntanya per a romandre viable davant d'unes condicions de competència en augment, i amb les dificultats intrínseques de les zones de muntanya per a accedir als mercats (A4) i a la influència política (GS5), la pagesia de muntanya percep guanys significativament inferiors als dels companys de la plana (Tulla *et al.*, 2003). Com a resultat d'això, s'observa una degradació progressiva dels agroecosistemes per la simplificació de les pràctiques agrícoles i ramaderes (Poyatos *et al.*, 2003; Mottet *et al.*, 2006) i una degradació de la gestió comunal, fonamentalment de boscos i pastures alpines (GS6). Cal destacar, també, la importància que han tingut els subsidis a l'agricultura i/o a la ramaderia (S5), fonamentalment associats

a la producció però també a la conservació (com, per exemple, la producció ecològica), en el manteniment d'aquestes activitats econòmiques tan importants a les muntanyes. Aquest fet s'ha produït en conjunció amb un increment del pes de les decisions que es prenen a Brussel·les, en detriment de les que es prenen a Barcelona, a Madrid o a escala regional (GS5). Paral·lelament, les zones de muntanya han vist augmentada l'economia local, amb un increment de cooperatives i de microempreses (A5), fet que ha provocat un increment de noves maneres de comercialització, com és el cas de la venda directa (GS3).

Les transformacions socials principals es vinculen, fonamentalment, a la influència creixent d'interessos i de valors urbans i no agrícoles i als estils de vida que s'hi associen (A2). Aquest fet implica una recomposició ascendent del paper que cada cop més segments de la societat atribueix a les zones de muntanya i que impulsa una transició en les estratègies de desenvolupament de les muntanyes: les muntanyes han passat de centrar-se en funcions productives a concentrar bona part de les activitats recreatives i conservacionistes (RU6) (Vaccaro *et al.*, 2007; López-i-Gelats *et al.*, 2009; Guirado, 2011). També cal esmentar el canvi tan important que s'ha produït del perfil sociocultural (A2) dels habitants de muntanya. A aquestes zones es troba, actualment, un percentatge en augment de «neorurals» provinents de ciutats, de nous immigrants econòmics d'altres països a la recerca de noves oportunitats laborals i de retornats, és a dir, de persones que es van criar a zones de muntanya, que després es traslladaren a centres urbans durant uns quants anys i que finalment decidiren tornar. Tot plegat ha fet que cada cop hi hagi més gent amb menys tradició familiar ramadera o agrícola i amb més experiències urbanes i graus d'estudis superiors vivint a les zones de muntanya. També entre els habitants de la muntanya es produeix una migració interna, que implica el desplaçament de part de la població cap als pobles dels fons de les valls (S2), fet que comporta un abandonament progressiu dels petits pobles d'elevacions mitjanes i altes (S2). Cal aclarir, però, que en aquests moments, i passat un període de creixement demogràfic significatiu, la població muntanyenca es troba, globalment, estabilitzada (S2). La despoblació de les regions més altes i

la concentració de la població a les valls (S2) ha tingut com a conseqüència directa la concentració dels serveis públics a les capitals de comarca (RS9). Per exemple, és als fons de les valls que podem trobar grans superfícies comercials i millors serveis sanitaris (RS4), sovint bo i desplaçant els usos agrícoles i ramaders preexistents (com ara els prats de dall i les quadres).

Les transformacions ecosistèmiques deriven directament de polítiques ambientals i del foment dels espais naturals protegits (S4) o bé, indirectament, dels canvis socials i econòmics esmentats anteriorment. Amb relació a les polítiques ambientals, destaquen l'increment de la superfície protegida pel valor natural (GS5) i la reintroducció de fauna salvatge (RU3). En són dos clars exemples el projecte Gallipyr (<http://www.gallipyr.eu>), encaminat a protegir els espais ocupats pels tetraònids (la perdiu xerra i el gall fer, per exemple), o el projecte aprovat recentment Piroslife (<https://piroslife.wordpress.com>), encaminat a consolidar el futur de l'ós bru a les contrades pirinenques en convivència amb l'entorn, les persones i l'activitat econòmica del territori. Pel que fa a les transformacions ecosistèmiques derivades dels canvis socioeconòmics, cal esmentar l'augment de la massa forestal, tant amb relació a l'estructura de boscos ja existents —amb un increment de la biomassa—, com a l'emmatament creixent que pateixen les línies superiors del bosc (RU2); i una homogeneïtzació del territori (RU7), fonamentalment a conseqüència de l'abandonament de prats de dall i pastures alpines i d'una gestió forestal menys intensa. Això ha afavorit d'una manera extraordinària les espècies forestals, com ara els grans ungulats, i, alhora, ha limitat el creixement de les espècies lligades a l'agricultura i la ramaderia, als marges i, en definitiva, a un paisatge en mosaic i més heterogeni.

21.3.3.2. *Sensibilitat*

En l'apartat anterior s'han descrit els factors que han definit el comportament del sistema socioecològic complex de muntanya durant els darrers anys. A partir de l'observació dels autors d'aquest capítol, de comunicacions personals d'autors d'altres capítols d'aquest INFORME i de les referències bibliogràfiques esmentades en l'apartat anterior, en aquest apartat s'identifiquen els impactes de les transformacions que la muntanya catalana

està experimentant en els diversos elements que componen el SES muntanya. Les transformacions impacten d'una manera diversa en els diferents elements dels SES, i les muntanyes catalanes no en són una excepció. Pel que fa al canvi climàtic, en general, s'observa una tendència cap a l'allargament de la temporada estival (o un escurçament de la hivernal) que pot haver tingut implicacions en tot el sistema. No obstant això, a conseqüència de la dificultat d'atribució dels impactes a transformacions específiques, cal assenyalar que els impactes que s'observen al SES muntanya són fruit de la combinació de tot un entramat de múltiples transformacions, en què el canvi climàtic només és un element més. A més, cal tenir en compte que la natura diversa dels diferents elements del sistema explica, també, la diversitat de situacions d'impacte que se'n pot derivar.

En aquest apartat s'examina, doncs, si el conjunt de transformacions, climàtiques i no climàtiques, que s'està produint a la muntanya provoca impactes positius o negatius en els diversos elements que componen el SES muntanya, és a dir, si els canvis en qüestió reforcen o no cada un d'aquests elements. Així, a la taula 21.2 es pot veure l'impacte que, en termes d'increment o disminució, han provocat les transformacions esmentades en els diversos elements que conformen el SES muntanya (vegeu, també, la taula 21.1 i la figura 21.2). És important tenir present que una mateixa transformació pot desencadenar impactes ben diferents. Per exemple, el perfil dels habitants dels pobles i les ciutats de muntanya ha canviat cap a una proporció més gran de gent amb estudis superiors o cap a un tipus de societat amb més tendència a l'associacionisme i a la creació de microempreses. Hom pot pensar perfectament que aquests canvis són positius i que aporten un valor afegit a la societat. Ara bé, en paral·lel s'observa una pèrdua de coneixements tradicionals, tant culturals com econòmics (relacionats amb la ramaderia o l'agricultura), sovint no compensats per l'aparició de «neurals» que reviu, en part, el *modus vivendi*. És, doncs, evident que els gestors dels territoris s'enfronten a un sistema en el qual caldrà ponderar cadascun dels elements en cada cas en què apareguin contradiccions d'aquest tipus. En l'apartat següent (21.3.3.3) es descriuen les mesures d'adaptació preses al territori català i que

s'utilitzen per a afrontar les transformacions que s'han descrit en aquest apartat i/o beneficiar-se'n.

21.3.3.3. *Adaptació. Experiències pràctiques d'adaptació als sistemes de muntanya*

La tercera dimensió de la vulnerabilitat d'un sistema és l'adaptació. Tant a Catalunya com a la resta del món cada cop hi ha més consens sobre la urgència no solament d'establir polítiques i estratègies de mitigació del canvi climàtic, sinó també d'implementar estratègies per a adaptar-se a les transformacions en curs i als impactes que generen. Els sistemes de muntanya no han de ser aliens a aquesta tendència. Així doncs, a partir de l'observació dels autors d'aquest capítol, de comunicacions personals d'autors d'altres capítols d'aquest INFORME i de referències bibliogràfiques (com, per exemple, Laguna Marín-Yaseli *et al.*, 2003; Poyatos *et al.*, 2003; Tulla *et al.*, 2003; Mottet *et al.*, 2006; Vaccaro *et al.*, 2007; García-Martínez *et al.*, 2009; López Palomeque, 2009; Tulla *et al.*, 2009; Guirado, 2011; Sancho, 2011; Fernández-Giménez *et al.*, 2012; López-i-Gelats, 2013), en aquest apartat s'identifiquen les estratègies principals que es poden desenvolupar en funció dels nostres objectius de desenvolupament sostenible a les zones de muntanya (21.4.2). Aquest apartat se centra a identificar i descriure les estratègies d'adaptació observades a les muntanyes catalanes, molt especialment al Pirineu, o a regions amb dinàmiques molt similars. Aquestes estratègies són organitzades per àmbits.

En l'àmbit de l'agricultura, la ramaderia i/o l'alimentació hi ha un fenomen que destaca per sobre de la resta: l'abandonament de la ramaderia juntament amb l'extensificació de les explotacions existents per a minimitzar costos i alliberar mà d'obra que es pot dedicar a altres activitats econòmiques amb més retribucions. També, però, s'observen altres tendències rellevants, com ara: I) l'adopció de la producció ecològica, sovint incentivada amb subvencions públiques, tot i que no sempre, per a explorar nous nínxols de mercat tenint en compte els baixos costos de conversió per a les explotacions ramaderes de muntanya; II) el canvi cap a la producció o l'elaboració de nous productes amb més perspectives, com, per exemple, la vinya o la poma; III) l'emergència de noves maneres d'organitzar-se, com ara la iniciativa de l'Escola de

Pastors de Catalunya (<https://projectegripia.wordpress.com>) o els bancs de terres o cooperatives de producció, distribució i/o consum, i, finalment, IV) l'adopció de noves maneres de distribució i consum que redueixin la presència d'intermediaris, com ara la venda directa i la comercialització de proximitat de productes relacionats amb l'artesania cultural i alimentària (formatges o llana, per exemple).

En l'àmbit del turisme, cal diferenciar el d'hivern del d'estiu. Pel que fa al turisme d'hivern, a Catalunya s'ha apostat per una compra pública de les pistes d'esquí i una valorització de les infraestructures del turisme d'hivern (López Palomeque, 2009). Així, tot i que gràcies a aquestes ajudes públiques les pistes d'esquí simplement sobreviuen, la major part han hagut de fer grans inversions en la instal·lació de canons de neu artificial. A més, algunes —pocques— estacions d'esquí han anat apostant per diversificar l'oferta en altres períodes, fet pel qual han esdevingut pistes de muntanya que ofereixen un seguit d'activitats recreatives que es poden dur a terme durant l'època no hivernal. Paral·lelament, hi ha hagut una aposta clara de promoció del turisme de muntanya (neu i riu, turisme rural, agroturisme i turisme de natura), amb un resultat positiu sobretot per al turisme d'estiu.

També s'observa l'adopció de diverses iniciatives d'adaptació en l'àmbit de la gestió del medi natural. En són bons exemples el foment i la regulació de la caça, la pesca i la recol·lecció; la reintroducció d'espècies salvatges (com ara l'ós o el voltor negre); el foment de la utilització d'estelles de fusta local per a calefacció; l'adopció de models de gestió adaptativa, com, per exemple, algunes iniciatives relacionades amb els bolets o els bancs de terres agrícoles, i l'increment dels espais naturals protegits i dels acords de custòdia del territori. S'observa, també, la tendència a un abandonament de la gestió dels boscos a les regions més inaccessibles, a conseqüència de la baixa rendibilitat. Tot i que pot sorprendre, aquesta darrera inacció també és una estratègia d'adaptació, en aquest cas per part del propietari forestal.

Altres sectors econòmics també s'estan adaptant a les noves condicions. Així, com a la resta del territori català, s'hi ha identificat el foment de l'em-

TAULA 21.2. Evolució recent dels impactes

Impactes	Evolució
Actors	
A1, A2. Perfil de la població que treballa en el sector terciari	↑
A1, A2. Perfil de la població agrícola	↓
A1, A2. Ocupació al sector dels serveis	↑
A1, A2. Producció ecològica	↑
A5, A7. Població amb més valors «urbans»	↑
A8, RS4. Prats de dall dels fons de les vall, claus per a l'alimentació animal a l'hivern	↓
A8. Temporada de neu	↓
Governança	
GS3. Teixit associatiu	↑
GS3. Venda directa i circuits alternatius de venda i distribució	↑
GS5. Pes dels decisors polítics internacionals	↑
GS6. Gestió comunal de pastures i boscos	↓
Sistema recurs	
RS1. Turisme (quantitat, intensitat i freqüència) / turisme rural	↑
RS3, RS4. Prats de dall dels fons de les valls amb disminució de la biodiversitat alpina	↓
RS4. Superfície forestal (biomassa)	↑
RS4. Comunicacions	↑
RS1, RS4. Serveis públics	↑
RS1, RU7. Producció d'alguns conreus (vinya) i productes (formatge)	↑
RS5, RU7. Espais naturals	↑
RS7. Neu perpètua	↓
RS6, RS7. Disponibilitat hídrica, com ara fonts (que pot afectar l'agricultura, la ramaderia, la biodiversitat i la població humana)	↓
Serveis i unitats del recurs	
RU5, RU7. Ungulats (porc senglar, cabirol, cérvol, daina, etc.), carnívors mitjans (guineu, etc.) i carronyaires (voltors, etc.)	↑
RU5, RU7. Depredadors naturals del bestiar (ós, voltor, etc.) (conseqüències socials)	↑
RU5, RU7. Espècies salvatges forestals i espècies reintroduïdes	↑
RU5, RU7. Espècies salvatges associades a ambients agrícoles i ramaders	↓
Interaccions	
I1. Agricultura i/o ramaderia (abandonament de l'activitat)	↓
I1. Ús ramader de les pastures alpines (abandonament de la terra)	↓
I1. Pobles petits	↓
I1. Foment del turisme rural, d'esquí i de riu	↑
I2. Influència dels valors urbans i no agrícoles	↑
I5. Producció hidroelèctrica	↑
Resultats	
O1. Guanyats relatius de la pagesia de muntanya	↓
O1. Capital humà (associacionisme, gent amb estudis superiors, neorurals, etc.)	↑
O1. Capital humà (coneixements tradicionals, ramaders, agrícoles, artesanía, etc.)	↓
O2. Biodiversitat	↓
O2. Resiliència	↓

preneuria i del sector de la construcció. Alhora, hi ha un augment de certes professions lligades al turisme de muntanya, com ara guies de natura o guies de muntanya. També s'observa, com es comentava anteriorment, un increment remarcable d'iniciatives relacionades amb noves maneres d'organització i comunicació, com ara la venda directa i la creació de noves associacions i cooperatives.

21.4. Escenaris de futur per a les muntanyes

21.4.1. Els diversos marcs mentals que coexisteixen a les muntanyes

A fi de modelitzar cap a on poden anar les zones de muntanya de Catalunya, aquest apartat es basa en quatre escenaris diferents d'adaptació que han estat construïts a partir dels quatre marcs mentals principals que coexisteixen en la població local sobre el desenvolupament que haurien de seguir les zones de muntanya. Aquests quatre marcs mentals han estat identificats al Pirineu com a discursos de ruralitat (López-i-Gelats *et al.*, 2009): el discurs agricultor, el discurs emprenedor, el discurs conservacionista i el discurs del desenvolupament endogen.

El marc mental conservacionista veu en la preservació i la valorització dels actius ecològics el punt central del full de ruta. Així, doncs, atorga un paper fonamental als espais naturals protegits i a la capacitat de dinamització econòmica i social. Es creu que la majoria de la societat està disposada a pagar més per béns i serveis d'alt valor ecològic, a la vegada que es remarca la base sòlida i sostenible d'aquesta línia d'adaptació per a les zones de muntanya. S'han de promoure activitats econòmiques que fomentin la biodiversitat i mantinguin el paisatge.

El marc mental emprenedor veu en l'abandonament i el despoblament de les zones de muntanya el gran enemic que cal combatre. Per a enfrontar-s'hi, argumenta, cal fomentar l'emprenedoria i la innovació econòmica. Aquesta línia d'adaptació aposta pel turisme i la construcció, que veu com els actius més sòlids de què disposen les zones de muntanya. La ramaderia decadent i subvencionada, segons els que utilitzen aquest marc mental, és el símbol del camí que no s'hauria de seguir.

Els espais naturals protegits són barreres per al desenvolupament, ja que limiten l'accés a recursos que es podrien dinamitzar. És un problema, remarquen, que els decisors polítics tinguin un desconeixement tan gran de les zones de muntanya i que només les percebin com a zones recreatives per als urbanites i no com a zones amb una economia dinàmica.

El marc mental agricultor creu que el gran actiu de les zones de muntanya és el potencial agrícola i, molt especialment, el ramader. La ramaderia no solament és vista com una activitat productiva, sinó com una activitat generadora de molts béns i serveis molt valorats per la resta de la societat (com, per exemple, el paisatge o la cultura) i que, a la vegada, són la base d'altres sectors econòmics, com ara el turisme. Segons aquesta línia d'adaptació, la millor manera de garantir aquesta capacitat dinamitzadora de la ramaderia és mantenir-ne la vocació productiva.

El marc mental del desenvolupament endogen remarca els efectes nocius per a les zones de muntanya dels models de desenvolupament centrats en la construcció i el turisme de masses. Segons aquesta línia d'adaptació, cal una diversificació econòmica i un rol més protagonista dels habitants en la definició del full de ruta que les zones de muntanya han de seguir. Cal cercar un equilibri entre els conservacionistes i els sectors turístic i agrícola. Ni el monocultiu turístic, ni els espais naturals protegits aïllats de la població local es veuen com a estratègies sostenibles.

21.4.2. Escenaris d'adaptació a les muntanyes

En aquest apartat es modelitzen d'una manera qualitativa els principals possibles escenaris d'adaptació que es podrien esdevenir a les muntanyes (concretament, al Pirineu), tenint en compte els marcs mentals coexistents entre la població local, descrits a l'apartat precedent, i les estratègies de desenvolupament observades pels autors, a més de les descrites a la literatura dels Pirineus i altres sistemes de muntanya (com, per exemple, Laguna Marín-Yaseli *et al.*, 2003; Poyatos *et al.*, 2003; Tulla *et al.*, 2003; Mottet *et al.*, 2006; Vaccaro *et al.*, 2007; García-Martínez *et al.*, 2009; Fernández-Giménez *et al.*, 2012; López-i-Gelats,

2013). Es tracta, doncs, d'un exercici de modelització teòrica, elaborat per a aquest capítol, del que hauria de ser un treball de desenvolupament de planificació d'escenaris participatius (Cork *et al.*, 2005) que permetessin explorar, descriure i desenvolupar visions compartides entre tots els actors implicats —un bon exemple pioner fet a casa nostra seria l'estudi centrat en el desenvolupament futur de les comarques del Pallars Jussà, el Pallars Sobirà i l'Alta Ribagorça, d'Aubarell *et al.*, 1999. La taula 21.3 mostra, per a cadascun dels marcs mentals, els escenaris preferits d'adaptació i les estratègies d'adaptació específiques que els componen en cada un dels casos. Els diferents escenaris d'adaptació construïts, doncs, són els que es descriuen a continuació.

21.4.2.1. Cogestió

L'escenari de cogestió es basa en la construcció de noves maneres d'organització social en xarxa i horitzontals. En un escenari basat en la cogestió, estratègies com ara la custòdia del territori i la gestió adaptativa prenen una gran rellevància en molts àmbits. Una adaptació basada en la cogestió seria ben rebuda allà on el marc mental predominant fos l'«agricultor» o el del «desenvolupament endogen». En ambdós casos s'haurien de promoure iniciatives existents com ara l'escola de pastors o el turisme rural. Caldria, a més a més, potenciar estratègies de gestió forestal adaptativa, aprofitant el bosc com a font de recursos com, per exemple, la biomassa o els bolets, sense oblidar, però, serveis ecosistèmics forestals més intangibles com ara la preservació de la biodiversitat, amb un efecte directe i positiu en el turisme. En aquest sentit, l'augment d'acords de custòdia del territori podria ser una bona estratègia. Un escenari de cogestió també afavoriria noves iniciatives d'emprenedoria basades en productes locals i/o en la venda directa. Cal destacar que iniciatives d'aquest tipus, a curt termini, segurament toparien amb sectors com ara la construcció i, molt probablement, el turisme. Però el marge per a la coexistència i, fins i tot, per a la generació de sinergies mútues no s'hauria de menystenir. Així, en una regió que actualment estigui molt centrada en el turisme massiu (sobretot el de neu i les pistes d'esquí, però també possiblement a la vora de zones atractives com ara un parc natural o un parc nacional) i en sigui molt

dependent, una estratègia basada en la cogestió requeriria una transició relativament lenta cap a un canvi en el model social i econòmic actual.

21.4.2.2. Intensificació

Potser a l'altra banda de l'espectre dels escenaris que es tenen en compte en aquest capítol hi hauria un escenari d'adaptació basat en la intensificació, és a dir, a estimular l'economia de la regió centrant-se en els actius amb potencial productiu més elevat. Aquest escenari es caracteritza, sobretot, pel foment de l'emprenedoria centrada en els sectors de la construcció i el turisme de masses (amb un fort pes del turisme de neu), que, ara per ara, són els d'una dimensió econòmica més gran a bona part de les zones de muntanya catalanes. Té sentit pensar que es produiria un augment de la demanda energètica, i, per tant, el factor forestal dedicat a la producció de biomassa també en podria sortir beneficiat. De la mateixa manera, actors com ara els botiguers i els implicats en projectes de venda directa probablement en sortirien beneficiats, tot i que d'una manera intermitent (caps de setmana i festius) i sempre en funció de la presència dels no locals. Un escenari com aquest seria difícil d'aplicar en regions on el marc mental predominant fos el «conservacionista», mentre que en les regions on predominés el marc mental «agricultor» o el del «desenvolupament endogen», el balanç entre beneficiats i perjudicats dependria del pes que el gestor donés a cadascun dels actors implicats al territori. En canvi, el marc mental «emprenedor» encaixa a la perfecció amb aquest escenari d'adaptació.

21.4.2.3. Innovació social

L'emergència de nous productes, actius i professions caracteritza aquest escenari. Cal diferenciar, però, aquest escenari de l'anterior. Mentre que l'escenari d'intensificació se centra a potenciar els principals pilars actuals (o del passat recent) que mantenen les regions de muntanya, les estratègies d'adaptació basades en la innovació social potencien noves activitats com ara l'exploració de nous cultius i de noves professions. D'adaptacions d'aquests tipus ja se n'han mencionat algunes anteriorment: nous cultius com ara el de la poma o la vinya o l'augment de la demanda de guies de muntanya. Un escenari d'adaptació basat en la innovació seria indicat en una regió

TAULA 21.3. Escenaris d'adaptació en funció dels diversos marcs mentals coexistents entre la població muntanyenca

Marcs mentals	Escenaris d'adaptació				
	Cogestió	Innovació social	Bioeconomia	Diversificació	Intensificació
Agricultor					
Caça i pesca	+	-	+	+	+
Extensificació de la producció ramadera	○	+	+	++	--
Escola de pastors / banc de terres	++	++	+	○	+
Turisme rural	+	++	+	++	○
Cooperativisme i associacionisme	○	+	○	+	+
Emprenedor					
Turisme de neu i riu	-	+	-	--	++
Sector de la construcció	--	--	--	--	++
Emprenedoria	○	+	--	-	++
Ús de biomassa per a calefacció (pèl·lets)	-	+	++	○	++
Pistes d'esquí a pistes de muntanya	-	+	-	+	++
Abandonament de la ramaderia	--	--	○	○	--
Nous cultius (vinya, poma, etc.)	○	++	○	++	+
Abandonament de la tala forestal	-	-	○	○	++
Conservacionista					
Espais naturals	+	+	++	+	--
Reintroduccions de fauna	-	○	++	○	○
Producció ecològica	○	+	++	+	-
Turisme de natura	+	+	++	+	○
Extensificació de la producció ramadera	○	+	○	+	--
Desenvolupament endogen					
Emprenedoria	+	+	+	+	+
Caça i pesca	+	○	+	○	○
Gestió forestal adaptativa (bolets, etc.)	++	++	++	+	+
Custòdia del territori	++	++	++	+	-
Nous cultius (vinya, poma, etc.)	○	++	○	+	+
Noves professions (guia, etc.)	+	++	+	+	+
Producció ecològica	○	+	++	+	-
Escola de pastors / banc de terres	++	++	+	○	+
Ús de biomassa per a calefacció (pèl·lets)	+	++	+	+	+
Venda directa	+	++	+	+	++
Turisme rural	++	++	+	+	○
Artesania cultural i alimentària	+	++	+	+	+
Cooperativisme i associacionisme	+	+	○	○	○

on el marc mental predominant fos el del «desenvolupament endogen», i no és esbojarrat pensar que els marcs mentals «conservacionista» i «agricultor» en podrien ser bons punts de partida, sempre que no ens ho juguem tot a una sola carta i fomentem un desenvolupament centrat en una emprenedoria diversificada i amb valors de respecte a l'entorn social, ambiental i cultural ben arrelats. L'escola de pastors és, per exemple, una estratègia d'innovació social que beuria de les fonts dels marcs mentals del «desenvolupament endogen» i també l'«agricultor». Mentre que una gestió adaptativa per a un sector forestal que garantís, entre altres serveis, la demanda energètica de la regió per mitjà d'estelles o pèllets, o un sector turístic que potenciés el turisme rural i de natura, tot enfortint les cases rurals i els càmpings de la zona, serien possibles estratègies d'innovació social que beurien de les fonts dels marcs mentals «conservacionista» i del «desenvolupament endogen».

21.4.2.4. Bioeconomia

Aquest escenari d'adaptació es basa en l'explotació comercial dels valors naturals i ecològics del producte o regió en qüestió i és l'escenari ideal per a una societat amb un marc mental del perfil «conservacionista» i també del «desenvolupament endogen»; i, en menys grau, l'«agricultor». Estratègies adaptatives com ara l'ampliació de parcs naturals, la reintroducció de fauna salvatge i el foment de la producció ecològica són estratègies d'adaptació que floreixen en aquest escenari, com també el desenvolupament de les energies renovables. En aquest sentit, cal destacar el potencial que moltes zones de muntanya ofereixen en termes de biomassa, sense oblidar l'energia solar, la hidràulica i l'eòlica. Els beneficiaris col·laterals d'aquest tipus d'activitats serien un sector turístic que busqués un client amb un perfil determinat, allunyat del turisme de masses, o bé propietaris forestals que poguessin treure rendiment d'alguns serveis ecosistèmics com els bolets, per exemple. Caldria tenir en compte, però, que un augment de zones protegides podria provocar, a mitjà termini, efectes no desitjats, ja que podria actuar com a atracció de masses. En són bons exemples els parcs nacionals i altres figures de conservació (tant en l'àmbit estatal com internacional) que han de limitar l'accés de visitants a les zones protegides

o més famoses. El gestor, doncs, hauria de tenir en compte aquest tipus d'efectes indirectes no desitjats. Amb una bona gestió del patrimoni natural i social, però, cooperatives i noves empreses tindrien una bona oportunitat en un entorn on les estratègies d'adaptació anessin en aquesta línia. Molt probablement caldria un període de transició, com el que cal per a dur a terme una producció ecològica.

21.4.2.5. Diversificació

«No jugar-s'ho tot a una sola carta» és el tret característic d'aquest escenari d'adaptació, és a dir, es tracta que la base econòmica de la regió sigui com més àmplia millor. Aquesta estratègia d'adaptació encaixa perfectament amb el marc mental del «desenvolupament endogen», i en alguns casos també ho podria fer amb l'«agricultor». Aquí cal, però, tenir en compte que alguns autors apunten que, sovint, la diversificació econòmica d'explotacions ramaderes de muntanya més que enfortir l'activitat ramadera la debilita, per tal com significa una primera passa cap a la transició de l'activitat ramadera a la turística. En aquest escenari d'adaptació, en certa manera i amb certes restriccions, també hi hauria lloc per a activitats d'emprenedoria, tant de noves com de nova explotació d'ofertes existents (com ara la reconversió de les pistes d'esquí a pistes de muntanya). La diversificació és atractiva perquè dona resiliència global a una regió determinada. Les sotragades en un sector són compensades pels bons temps d'un altre sector. Aquest fet, considerant que vivim en una societat dinàmica, en què interessos, gustos i simpaties es troben en evolució constant, converteix aquest escenari d'adaptació en un escenari altament atractiu en temps canviants.

L'anàlisi de la taula 21.3 mostra que, segons el marc mental, les estratègies d'adaptació implementades afavoriran un sector o un altre. També es fa evident que, fins i tot en una regió determinada, hi pot haver estratègies d'adaptació globals i locals basades en marcs mentals diferents. A l'hora de prendre decisions, els gestors i els decisors polítics han d'analitzar cadascuna de les cel·les d'aquesta taula (o d'una de semblant adaptada a cada cas) i avaluar-ne les possibles conseqüències i compensacions que se'n puguin derivar.

21.5. Conclusions

Una bona part del territori català és muntanyós. El que s'hi faci i, molt especialment, la manera com aquesta classe de regions afronti i es beneficiï del canvi climàtic és un àmbit estratègic per a Catalunya. Les regions de muntanya es troben fonamentalment exposades a dues menes d'efectes derivats del canvi climàtic: fenòmens extrems, com ara esllavissades i riuades, i afectacions graduals de processos biofísics, com ara l'increment de la temperatura estiuenca. No obstant això, i malgrat les incerteses en les prediccions, tot apunta cap a un augment de les afectacions del canvi climàtic.

Les regions muntanyoses de Catalunya i, en particular, el Pirineu, són sotmeses a transformacions ràpides i d'una gran magnitud, amb les quals conviuen els efectes del canvi climàtic. De fet, l'entramat de transformacions que s'esdevenen en aquests moments a la muntanya catalana són tantes i tan diverses que l'atribució exacta d'impactes específics a transformacions concretes és impossible. Aquest fet implica que, encara que tinguem la certesa que s'esdevenen canvis concrets del clima, a l'hora d'avaluar-ne l'impacte és inviable intentar destriar l'efecte del canvi climàtic de l'efecte exercit per les altres transformacions (socials, econòmiques, ecològiques, etc.). Per aquest motiu, i molt especialment quan es tracta l'adaptació, és fonamental tenir en compte totes les transformacions que conviuen al territori (l'allunyament dels centres econòmics, la poca influència política, la poca població i la baixa densitat de població, les desigualtats de gènere, el grau baix d'urbanització o la «naturbanització» creixent, la manca notable de serveis públics, i un llarg etcètera molt dependent del lloc i de l'escala). Concretament, i com s'ha posat de manifest en aquest capítol, a les regions muntanyoses les transformacions socials, econòmiques i ecològiques que conviuen amb els efectes del canvi climàtic no solament són molt nombroses sinó també d'una gran magnitud. És cabdal afegir, doncs, els factors no climàtics en qualsevol anàlisi per a entendre l'impacte del canvi climàtic. A cada moment, proposem que cal veure el canvi climàtic com un agreujant d'una vulnerabilitat estructural subjacent i fortament determinada per tendències econòmiques, socials i ecològiques preexistents. En conseqüència, les mesures per a

reduir aquesta vulnerabilitat estructural subjacent, cal considerar-les també mesures d'adaptació al canvi climàtic. En aquest sentit, per a una més bona comprensió del paper del canvi climàtic a les zones de muntanya, és indispensable aplicar marcs conceptuals complets, avesats a organitzar la informació en entorns complexos i canviants, com és el cas del que s'ha aplicat en aquest capítol, combinant el marc SES i el marc de vulnerabilitat. També hauria estat desitjable un enfocament participatiu.

Els diferents apartats del capítol i, sobretot, la taula 21.3 representen una eina i un repte per al gestor per a poder decidir com pot ser el futur Pirineu (i, per extensió, les muntanyes catalanes), i per a entendre que les estratègies d'adaptació difereixen segons el model mental o la narrativa que es decideixi més d'acord amb el discurs del gestor/a. Volem un Pirineu basat en el desenvolupament del sector turístic? O interessa més tenir unes muntanyes on es prioritzi l'agricultura, tradicional o no? Com es poden, si és que es poden, compatibilitzar els diversos interessos i, alhora, tenir unes muntanyes «sostenibles»? Poden, les muntanyes, treure profit del canvi climàtic, o només és una amenaça? Segons els autors, no és possible fer content a tothom. En el futur, caldrà que els gestors manifestin una certa valentia i que els sectors menys afavorits per les decisions preses siguin molt comprensius amb els efectes. Sense això, l'adaptació serà només una estratègia *ad hoc*, per a sortir del pas a curt termini, amb alguns èxits i alguns fracassos, però possiblement poc eficient a llarg termini per a una regió que es veu abocada, inevitablement, a superar un canvi climàtic, econòmic i social molt abans i potser més ràpidament que altres contrades del nostre territori.

21.6. Recomanacions

L'aproximació duta a terme en aquest capítol posa de manifest que en un sistema complex com les muntanyes, on conviuen diversos interessos, una multitud de motors de canvi i una gran diversitat d'elements, les estratègies d'adaptació per a fer cara al canvi climàtic i/o beneficiar-se'n no tenen un disseny únic ni un consens fàcil. Així, doncs, a l'hora de triar l'escenari i les estratègies d'adaptació més convenients, caldrà tenir en compte tota una sèrie de factors:

Les adaptacions que són vàlides avui pot ser que no ho siguin demà o en un futur pròxim, a conseqüència de la modificació de les condicions. Per això, és fonamental fomentar estratègies d'adaptació flexibles i amb capacitat d'aprenentatge. Cal flexibilitat institucional i un entorn institucional que afavoreixi la innovació social, és a dir, l'aprenentatge continu.

La vulnerabilitat és contextual, és a dir, depèn de l'entorn social, cultural, econòmic i ecològic. L'adaptació és, doncs, també contextual. Cal donar una gran rellevància i un gran protagonisme al coneixement local i tradicional. Cal dotar de més poder i atribucions allò que és local. Per tant, és complicat fer servir la replicació com a base per a generar noves estratègies d'adaptació. Les panacees no existeixen; no hi ha solucions universals vàlides en els problemes associats al canvi climàtic.

Cal comptar amb la població local i posar en marxa processos de gestió adaptativa amb la participació de diferents escales administratives i en què el monitoratge i l'aprenentatge siguin elements centrals per a assegurar l'adaptació correcta del sistema de muntanya al canvi climàtic (i als altres motors de canvi) sense que en perilli la pròpia existència.

Cal tenir en compte, a l'hora de triar el camí d'adaptació més adequat, que a les zones de muntanya hi ha barreres d'adaptació importants a què cal fer cara, com, per exemple, un accés limitat als serveis públics, al coneixement i a la informació.

També cal tenir en compte que no és possible optimitzar-ho tot. Cal assolir compromisos i establir compensacions per als que se sacrifiquin pel conjunt. Cal instaurar vies de participació ciutadana per a afavorir la generació de grans consensos.

Referències bibliogràfiques

- ADGER, W. N. (2006). «Vulnerability». *Global Environmental Change*, 16, p. 268-281.
- AUBARELL, G.; BELZUNEGUI, À.; BORRÀS, J. [et al.] (1999). *El desenvolupament de l'alta muntanya és sostenible?: Mirada als futurs possibles*. Barcelona: Generalitat de Catalunya; Institut Català de la Mediterrània d'Estudis i Cooperació.
- CARAVELI, H. (2000). «A comparative analysis on intensification and extensification in Mediterranean agriculture: dilemmas for LFAs policy». *Journal of Rural Studies*, 16, p. 231-242.
- CLARK, W. C.; DICKSON, N. M. (2003). «Sustainability science: The emerging research program». *Proceedings of National Academy of Sciences*, 100, p. 8059-8061.
- CORK, S.; PETERSON, G.; PETSCHHEL-HELD, G. [et al.] (2005). «Four scenarios». A: CARPENTER, S. R.; PINGALI, P. L.; BENNETT, E. [et al.] (ed.). *Ecosystems and human well-being: Scenarios*. Washington DC: Island Press, p. 223-294.
- DARIER, É.; TÀBARA, J. D. (2006). «Els objectes naturals i la identitat nacional: Les muntanyes a Catalunya i al Quebec». *Papers*, 82, p. 37-55.
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2010). *Europe's ecological backbone: recognising the true value of our mountains*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Union. (EEA Report; 6/2010).
- FERNÁNDEZ-GIMÉNEZ, M. E.; FILLAT, F. (2012). «Pyrenean pastoralists' ecological knowledge: Documentation and application to natural resource management and adaptation». *Human Ecology*, 40, p. 287-300.
- GALLOPÍN, G. C. (2006). «Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity». *Global Environmental Change*, 16, p. 293-303.
- GARCÍA-MARTÍNEZ, A.; OLAIZOLA, A.; BERNUÉS, A. (2009). «Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems». *Animal*, 3, p. 152-165.
- GERMAIN OTZET, J. (ed.) (2004). *Els sistemes naturals de la vall d'Alinyà*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural.
- GUIRADO, C. (2011). *Tornant a la muntanya: Migració, ruralitat i canvi social al Pirineu català: el cas del Pallars Sobirà*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S. (ed.) (2001). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Washington DC: Island Press.

- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>> [Consulta: 22 març 2016].
- KATES, R.; CLARK, W.; CORELL, R. [et al.] (2001). «Sustainability science». *Science*, 292, p. 641-642.
- KOMIYAMA, H.; TAKEUCHI, K. (2006). «Sustainability science: Building a new discipline». *Sustainability Science*, 1, p. 1-6.
- LAGUNA MARÍN-YASELI, M.; LASANTA MARTÍNEZ, T. (2003). «Competing for meadows. a case study on tourism and livestock farming in the Spanish Pyrenees». *Mountain Research and Development*, 23, p. 169-176.
- LÓPEZ-I-GELATS, F. (2013). «Is mountain farming no longer viable? The complex dynamics of agricultural abandonment in the Pyrenees». A: MANN, S. (ed.). *The future of mountain agriculture*. Berlín, etc.: Springer, p. 89-103.
- LÓPEZ-I-GELATS, F.; MILÁN, M. J.; BARTOLOMÉ, J. (2011). «Is farming enough in mountain areas? Farm diversification in the Pyrenees». *Land Use Policy*, 28, p. 783-791.
- LÓPEZ-I-GELATS, F.; TÀBARA, J. D.; BARTOLOMÉ, J. (2009). «The rural in dispute: Discourses of rurality in the Pyrenees». *Geoforum*, 40, p. 602-612.
- MACDONALD, D.; GRABTREE, J. R.; WIESINGER, G. [et al.] (2000). «Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response». *Journal of Environmental Management*, 59, p. 47-69.
- MCGINNIS, M. D.; OSTROM, E. (2014). «Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges». *Ecology and Society*, 19(2), p. 30.
- MITCHLEY, J.; PRICE, M. F.; TZANOPOULOS, J. (2006). «Integrated futures for Europe's mountain regions: Reconciling biodiversity conservation and human livelihoods». *Journal of Mountain Science*, 3, p. 276-286.
- MOTTET, A.; LADET, S.; COQUÉ, N. [et al.] (2006). «Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscape: A case study in the Pyrenees». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114, p. 296-310.
- LÓPEZ PALOMEQUE, F. (ed.) (2009). *Atlas del turisme de Catalunya: Mapa nacional de l'oferta i els productes turístics*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa. Direcció General de Turisme. També disponible a: <www.atlesturismecatalunya.cat> [Consulta: 22 març 2016].
- PAHL-WOSTL, C. (2007). «The implication of complexity for integrated resources management». *Environmental Modelling & Software*, 22, p. 561-569.
- POYATOS, R.; LATRON, J.; LLORENS, P. (2003). «Land use and land cover change after agricultural abandonment: The case of a Mediterranean mountain area (Catalan Pre-Pyrenees)». *Mountain Research and Development*, 23, p. 362-368.
- SÁNCHEZ VILANOVA, L. (2012). *L'aventura de l'aigua: Cent anys dels primers projectes hidràulics de Lleida*. Lleida: Institut d'Estudis Ilerdencs.
- SANCHO, A. (2011). *Canvi rural, transformació del paisatge i polítiques territorials a la Terreta (Ribagorça, Catalunya/Aragó)*. Tesi (doctorat). Barcelona: Universitat de Barcelona.
- SEN, A. K. (1981). *Poverty and famines: An essay on entitlement and deprivation*. Oxford: Clarendon Press.
- SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H. [et al.] (2014). «Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)». A: IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. Edició de O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press, p. 1-179. També disponible a: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf> [Consulta: 22 març 2016].
- TULLA, A.; PALLARES-BARBERA, M.; VERA, A. (2009). «Naturbanization and local development in the mountain areas of Catalan Pyrenees». A: *Naturbanization: New identities and processes*

- for rural-natural areas. Leiden: Taylor & Francis Group Publishers, p. 75-92. També disponible a: <<http://scholar.harvard.edu/montserrat-pallares-barbera/publications/naturbanization-and-local-development-mountain-areas-catala>> [Consulta: 22 març 2016].
- TULLA, A. F.; SORIANO, J. M.; PALLARÈS, M. [et al.] (2003). «La transformació del model agrari en àrees de muntanya». *Espais*, 49, p. 82-97.
- VACCARO, I.; BELTRAN, O. (2007). «Consuming space, nature and culture: Patrimonial discussions in the hyper-modern era». *Tourism Geographies*, 9, p. 254-274.
- VALLEJO, V.; RAVERA, F.; RIVERA-FERRE, M. G. (en premsa). «Developing an integrated framework to assess agri-food systems and its application in the Ecuadorian Andes». *Regional Environmental Change*.
- WHITE, G. (1973). «Natural hazards research». A: CHORLEY, R. J. (ed.) *Directions in Geography*. Londres: Methuen, p. 193-216.
- WILSON, J.B., PEET, R.K., DENGLER, J., [et al.] (2012). «Plant species richness: The world records». *Journal of Vegetation Science*, 23, p. 796-802.

4a PART

Governança i gestió del canvi climàtic



22 Polítiques i instruments per a la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic

Autors

Josep Garriga Sala

Ismael Romeo Garcia

Irma Ventayol i Ceferino

Josep Garriga Sala és economista i ha estat subdirector general d'Agents Rurals i de Prevenció d'Incendis Forestals, subdirector general de Desenvolupament Sostenible i primer director de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic de la Generalitat de Catalunya. Ha participat en tretze conferències de canvi climàtic de l'Organització de les Nacions Unides (de la COP de Milà, el 2003, a la COP de París, el 2015).

Ismael Romeo Garcia és economista, màster executiu en administració i direcció d'empreses i director general de SENDECO2, la borsa espanyola de CO₂, des de l'abril del 2007. Pel que fa a la docència i a la divulgació, ha participat com a ponent i expert en el mercat d'emissions en diferents actes, cursos i con-

ferències, entre els quals destaquen les intervencions davant de la Comissió Mixta Congrés-Senat per a l'Estudi del Canvi Climàtic, el Congrés Nacional del Medi Ambient (CONAMA) i el Parlament de la Generalitat de Catalunya.

Irma Ventayol i Ceferino és biòloga de formació, amb més de quinze anys d'experiència en el camp de la sostenibilitat, especialment en la gestió i la planificació estratègica. Actualment és responsable de la redacció del Pla de Resiliència i Adaptació al Canvi Climàtic de l'Ajuntament de Barcelona. Anteriorment havia treballat com a consultora i cap de projectes a l'Estudi Ramon Folch i a PricewaterhouseCoopers.

Sumari

Síntesi	536
22.1. Introducció	537
22.2. Les polítiques de l'ONU	537
22.2.1. De la COP de Copenhaguen (2009) a la COP de París (2015)	537
22.2.2. El paper dels governs subestats	539
22.2.3. El reconeixement de la rellevància dels governs locals en l'àmbit internacional	540
22.3. Les polítiques europees i estatals	541
22.3.1. El paquet legislatiu d'energia i clima	541
22.3.2. L'Estratègia Europea d'Adaptació al Canvi Climàtic.....	542
22.3.3. El Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic	542
22.4. Les polítiques i els instruments catalans	543
22.4.1. Les polítiques de mitigació	543
22.4.2. Els acords voluntaris	544
22.4.3. L'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic	544
22.5. Les polítiques i els instruments locals	544
22.5.1. El Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia	544
22.5.2. El Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses per l'Adaptació	545
22.5.3. El Nou Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia i altres compromisos internacionals.....	545
22.5.4. Eines per al món local.....	545
22.5.4.1. Inventaris i bases de dades.....	545
22.5.4.2. La planificació estratègica.....	545
22.5.4.3. <i>L'intercanvi d'experiències i treball en xarxa</i>	546
22.5.4.4. La normativa.....	547
22.5.4.5. La coresponsabilitat.....	547
22.6. El mercat d'emissions.....	547
22.6.1. Una breu introducció.....	547
22.6.2. D'on venim? Període de compliment 2008-2012	548
22.6.2.1. L'entrada en vigor del Registre Únic Europeu	550
22.6.2.2. La incorporació del sector de l'aviació a l'EU ETS	550

22.6.3. La situació actual: el període 2013-2020	550
22.6.3.1. L'evolució de preus durant el període present.....	552
22.6.3.2. La situació actual dels mecanismes de desenvolupament net i d'implementació conjunta.....	552
22.7. Conclusions	553
22.8. Recomanacions	554
Referències bibliogràfiques	555

Síntesi

L'objectiu d'aquest capítol és descriure les polítiques i els instruments principals que existeixen en l'àmbit internacional, estatal, català i local per a facilitar la gestió i la governança envers el canvi climàtic.

En l'àmbit internacional, les negociacions entre els diferents estats per mitjà de les Conferències de les Parts de les Nacions Unides han estat l'instrument principal per a lluitar contra el canvi climàtic. En aquest capítol es fa una descripció de les negociacions dutes a terme, dels principals acords presos des de Copenhaguen (2009) fins a París (2015) i de la consecució, gràcies als esforços de la Delegació de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, del reconeixement del paper dels governs subestats en els textos oficials.

Existeixen diversos instruments d'àmbit internacional, com ara el paquet legislatiu d'energia i clima, en el qual la Unió Europea s'ha compromès a reduir les emissions en un 40 % per al 2030 respecte del 1990 i el qual preveu mesures de finançament, de foment de les energies renovables i d'eficiència, la creació d'un mercat europeu de drets d'emissions, etc. Pel que fa a l'adaptació al canvi climàtic, destaca l'Estratègia Europea d'Adaptació al Canvi Climàtic.

En l'àmbit estatal, l'any 2007 es va aprovar el Pla Nacional d'Assignacions, l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i d'Energia neta i el Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic.

Al final del 2006, el Govern de Catalunya es va dotar de dos instruments molt importants: l'Ofi-

cina Catalana del Canvi Climàtic i la Comissió Interdepartamental de Canvi Climàtic. L'any 2008 es va aprovar el Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya, que posteriorment es va actualitzar com a Pla d'Energia i Canvi Climàtic 2013-2020, i l'any 2012 es va aprovar l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic. També es disposa d'altres instruments, com ara el Programa d'Acords Voluntaris.

Avui dia ja no es discuteix la rellevància dels governs locals en la lluita contra el canvi climàtic a causa de la gran capacitat de lideratge i d'avenç que han demostrat. Tanmateix, en un marc de multigovernança nacional i internacional l'acció dels governs locals encara depèn de la sensibilitat dels governs nacionals i estatals. En aquest sentit, existeixen diverses iniciatives per a apoderar l'acció dels governs locals, com ara el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia o el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses per l'Adaptació (al canvi climàtic).

Finalment, l'últim apartat tracta el mercat d'emissions com una eina per a la reducció d'emissions procedents dels sectors industrials i fa un seguiment de l'evolució dels darrers anys (l'evolució dels preus, dels mecanismes de desenvolupament net i dels projectes d'acció conjunta) i de les novetats principals.

Paraules clau

adaptació, mitigació, governs locals, Conferència de les Parts (COP), mercats de CO₂, règim europeu de comerç de drets d'emissió (EU ETS)

22.1. Introducció

El clima de la Terra ha canviat i ha evolucionat sempre, però ara, després dels últims informes del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC), tenim clar que la causa inequívoca de les interferències en el sistema climàtic és l'activitat humana.

Com podem gestionar mundialment un problema que és global però que a la vegada té solucions locals i individuals? Tenim un sistema de governança mundial molt millorable, és a dir, poc eficaç i molt lent a l'hora de prendre decisions a la pràctica. L'únic instrument d'àmbit global de què disposem és l'Organització de les Nacions Unides (ONU), amb totes les mancances i les imperfeccions històriques i actuals.

D'una manera prioritària, en aquest capítol ens centrem en el procés engegat a partir de la reunió de Copenhaguen, el desembre del 2009, en el marc de la COP15, fins a la COP21, a París, a final del 2015. Tractem d'explicar el paper de les negociacions a l'ONU i a la Unió Europea (UE), així com el paper de les entitats subestamentals (*subnations*), del món local i d'alguns dels diferents instruments de què disposem per a lluitar contra el canvi climàtic.

En resum, cal actuar amb urgència, però qui ho ha de fer? Com? Amb quins mitjans? De quina manera?

22.2. Les polítiques de l'ONU

22.2.1. De la COP de Copenhaguen (2009) a la COP de París (2015)

El món actual, després del procés de globalització i el ressorgiment de les economies emergents, no és el mateix que el de l'any 1990. Les taules 22.1, 22.2 i 22.3 mostren d'una manera evident els canvis profunds que el món ha sofert durant el procés de globalització de l'economia mundial. S'hi pot observar que les emissions energètiques de la Xina i l'Índia han augmentat en un 262 % i en un 237 %, amb valors absoluts, entre el 1990 i el 2012. Els països desenvolupats han reduït les emissions energètiques en un 5,4 % i la resta d'estats del món, amb els emergents en primer lloc, han incrementat les emissions en un 171 %. En

conjunt, les emissions energètiques mundials han augmentat en un 51 %, una xifra molt preocupant. L'explicació d'aquest fenomen es troba, en part, en el procés de desplaçament de la producció de béns i serveis als països emergents; no en va la Xina és considerada la fàbrica del món actual.

A la COP de Copenhaguen, el 2009, es va voler crear un *momentum* (o clímax) en la negociació final dels acords que no va produir els resultats esperats. L'acord polític de Copenhaguen va tenir consideracions positives i negatives a la vegada. Com a consideració positiva es pot destacar que, per primera vegada, els Estats Units, la Xina i altres estats importants s'implicaven significativament i efectivament en el procés de la lluita contra el canvi climàtic, encara que en la pràctica volien guanyar temps per a adaptar les economies respectives a un món més descarbonitzat. La consideració negativa era que es creava el precedent d'una negociació gens transparent i s'animava els que volien eliminar el paper de l'ONU en el canvi climàtic,

TAULA 22.1. Emissions mundials relacionades amb l'energia de combustibles fòssils (carbó, petroli i gas)

	1990 (Mt CO ₂)	2012 (Mt CO ₂)	Increment del 2012 respecte al 1990 (%)
Xina	2.278	8.251	+262,2
Estats Units	4.869	5.074	+4,2
Europa dels 28	4.068	3.505	-13,8
Europa dels 15	3.086	2.827	-8,3
Rússia	2.179	1.659	-23,9
Índia	580	1.954	+236,6
Japó	1.057	1.223	+15,8
Països de l'annex I	13.890	13.141	-5,4
Països que no són de l'annex II	6.464	17.513	+170,9
Total mundial	20.974	31.713	+51,3
Espanya	205	267	+29,9
Itàlia	397	375	-5,7
França	353	334	-5,4
Alemanya	950	755	-20,5
Regne Unit	549	457	-16,7

Font: IEA, 2014.

TAULA 22.2. Segon període del Protocol de Kyoto (2013-2020) i Acord de Doha (2012, respecte a l'any base 1990)

	Reduccions efectives del primer període (2008-2012) (%)	Reduccions previstes (commitments) del segon període (2013-2020) (%)
Austràlia	+8	-0,5
Bielorússia	—	-12
Croàcia	-5	-20
Europa dels 27	-7,9	-20
Islàndia	+10	-20
Kurdistan	—	-5
Liechtenstein	-8	-16
Mònaco	-6	-22
Noruega	+1	-16
Suïssa	-8	-15,8
Ucraïna	0	-24
Total	-6	-18

El segon període del Protocol de Kyoto representa el 13 % de les emissions mundials. Els Estats Units i el Canadà no són ni al primer període ni al segon. Rússia, Nova Zelanda i el Japó no són al segon període.

Font: CDC Climate Research, basat en la UNFCCC, 2014.

cosa que creava un sentiment de desconfiança en el procés i de pèrdua de la confiança mútua entre els negociadors.

Aquesta confiança mútua es va recuperar parcialment l'any següent a Cancún (COP16), on la

presidenta de la COP, Patricia Espinosa, ministra d'Afers Exteriors de Mèxic, va fer una gestió oberta, transparent i inclusiva de totes les negociacions. Nogensmenys, hi va haver un enfrontament protagonitzat per alguns països del grup ALBA (Cuba, Veneçuela, Bolívia i Nicaragua), que a l'últim moment va ser només de Bolívia. Bolívia no era favorable a cap possible resolució de la COP i es va oposar amb fermesa a tots els acords. Patricia Espinosa va entendre que el consens no significava la unanimitat o el dret d'una delegació a imposar una espècie de veto als altres estats (en aquest cas, 193), de manera que es van aprovar els acords amb una menció del desacord de Bolívia, cosa que trencava, en realitat, la regla de la unanimitat. Era Bolívia; però què hauria passat si l'estat dissident hagués estat els Estats Units o la Xina?

Després de la recuperació parcial de la confiança mútua a Cancún, a Durban (COP17, el 2010) el procés es va tornar a encarrilar. Durban és una ciutat de Sud-àfrica, la terra de Mandela, i l'esperit de concòrdia, comprensió pel contrari i solució integral en temes conflictius va ser molt present des del primer moment de l'obertura de la conferència. A Durban, la negociació va tenir un format diferent de l'habitual, ja que es va posar en funcionament una tradició sud-africana anomenada *indiba* i basada en l'esperit de la interdependència (*ubuntu*). En aquestes reunions entre les parts es podien tractar els problemes comuns amb saviesa, prudència i bons criteris. Eren reunions de petit format, amb només cinquanta persones, en les quals a partir d'uns documents preparats per a la reunió (*room papers*) es plantejaven diferents escenaris i

TAULA 22.3. Diòxid de carboni en energia fòssil

	Grams de CO₂ per unitat de PIB			Tones de CO₂ per capita		
	1990	2012	Variació (%)	1990	2012	Variació (%)
Estats Units	592	357	-39,7	19,5	16,1	-17,0
Europa dels 28	419	248	-40,9	8,5	6,9	-18,9
Xina	1385	621	-55,2	2,0	6,1	+204,4
Índia	414	351	-15,2	0,7	1,6	+136,5
Japó	323	306	-5,0	8,5	9,6	+12,2
Rússia	1164	762	-34,6	14,7	11,6	-21,3
Àfrica	302	247	-18,1	0,9	1,0	+9,3

Font: IEA, 2014.

processos respecte a l'objectiu final de la COP. Es va establir un clima de confiança, ja que els resultats immediats i transparents d'aquestes reunions eren coneguts mitjançant la telefonia mòbil per tots els interessats que no eren a la reunió.

A Doha (Qatar, COP18, el 2012) es va aconseguir posar fi als dos grups de treball (el grup de cooperació a llarg termini en el marc del Conveni, AWG-LTC, i el grup del Protocol de Kyoto, AWG-KP) que funcionaven des de Bali, el 2007, de manera que va quedar un únic lloc de negociació global: la plataforma de Durban. Es va aprovar la segona fase del Protocol de Kyoto (2013-2020), però sense la presència del Japó, Rússia i el Canadà, cosa que significava molt poques emissions mundials, aproximadament un 13 %, com es pot veure a la taula 22.2.

A Varsòvia (COP19, el 2013) es van començar a intensificar els esforços perquè tots els estats presentessin les contribucions voluntàries determinades nacionalment (INDC). Es tractava de sumar-les d'una manera homogènia per veure si es podia evitar superar els 2 °C d'augment de la temperatura mitjana del planeta. Es va establir un mecanisme internacional de Varsòvia sobre les pèrdues i els danys relacionats amb fenòmens meteorològics extrems i els canvis lents acumulatius que afectaven negativament els estats no desenvolupats, un tema també conflictiu que, de moment, va quedar plantejat mentre s'esperava més concreció en altres conferències de l'ONU.

A Lima (COP20, el 2014), un any abans de la cita de París, es van tornar a manifestar els fantasmes del passat i la divisió entre els països desenvolupats i els oficialment no desenvolupats, encara que entre aquests segons n'hi havia alguns que tenien un nivell econòmic alt, com ara Singapur i Qatar. Es pot dir que els diferents grups de negociació van remarcar les posicions de sempre i que, al final de la conferència, van buscar un punt de trobada per a continuar negociant fins a París; és el que tothom va definir com «posicions equilibrades entre les pretensions dels uns i dels altres». La qüestió de les pèrdues i els danys va tornar a aflorar amb força, ja que els països no desenvolupats volien que tingués una consideració més alta en lloc d'incloure-la simplement al paquet de l'adaptació.

L'anunci d'una ambició més alta de reducció (un 40 % menys respecte de les emissions de l'any 1990) concretada per la UE per a l'any 2030 i l'acord previ del novembre del 2014 entre la Xina i els Estats Units amb escenaris d'actuacions per al 2030 i el 2025, respectivament, van ser molt ben rebuts per la Conferència de les Parts.

22.2.2. El paper dels governs subestats

Oficialment, el paper dels governs subestats (*subnations*) no existia abans de la COP de Poznan, l'any 2008; fins aleshores no hi havia hagut cap menció del concepte de *subestat* en cap document oficial de l'ONU.

Una tarda de la primera setmana de les negociacions de Poznan es va entreveure la possibilitat d'obrir una petita esclatxa legal. La Delegació de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, formada pel secretari tècnic, Iñaki Gili, el responsable de temes internacionals, Kenty Richardson, i el director, Josep Garriga, va valorar la possibilitat de presentar una esmena al text de negociació que implicués que, per primera vegada, la paraula *subnation* aparegués en un text oficial de l'ONU sobre el canvi climàtic.

No es podia consultar el redactat amb totes les entitats subestats, ja que no hi havia temps d'esperar la resposta i, per tant, tot depenia de la confiança d'altres entitats subestats importants mundialment en la delegació catalana. Catalunya formava part de la Xarxa de Govern Regional per al Desenvolupament Sostenible (nrg4SD), fundada a Johannesburg l'any 2002, i des de l'any 2003, juntament amb altres entitats subestats, havia estat molt activa en temes de canvi climàtic.

Aquell mateix any 2008, durant el mes d'octubre, s'havia dut a terme la Cimera Mundial de Regions del Món a Saint-Malo (França), amb el lema «Canvi climàtic: les regions en acció», en la qual Catalunya havia tingut un paper destacat. Després d'una ronda de contactes directes amb diverses organitzacions d'entitats subestats amb acreditació oficial, la nrg4SD va confiar en la delegació catalana i va presentar oficialment l'esmena redactada per aquesta delegació com a pròpia. L'esmena tractava del document del Grup de Treball sobre la Cooperació a Llarg Termini en el Marc del Conveni

(FCCC/AWGLCA/2008/16) i en els articles 13, 78, i 120 introduïa la paraula *subnation*. En un principi l'esmena va ser acceptada dins de l'esborrany, però calia defensar-la perquè pogués prosperar en el futur. Des de Catalunya no es podia defensar, atès que Catalunya no pot parlar a les reunions plenàries oficials de l'ONU, en les quals solament tenen veu els estats.

Alguns estats van comentar que, com que no hi havia cap estat que la defensés en les properes reunions, l'esmena quedaria en no res, en un intent infructuós, però la delegació catalana no s'hi va conformar. Del 7 a l'11 de febrer del 2009 l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic va participar, en el marc d'un programa de l'ONU al Senegal, en una col·laboració a la regió de Fatick sobre temes de canvi climàtic, i va fer amistat amb representants de les diferents regions del Senegal i també amb alguns ministres del Govern central d'aquest estat. Després, va demanar ser escoltada pels governs africans en una reunió del seu grup dins les negociacions de l'ONU, i un cop el grup africà en ple, presidit per Argèlia, va haver escoltat la delegació catalana, va fer seva l'esmena, de manera que ara ja hi havia algú que la defensaria.

A la Pre-COP, abans de la COP de Copenhaguen, que va tenir lloc a Barcelona el novembre del 2009, es va veure clarament que l'esmena catalana tenia l'èxit assegurat. A la COP de Copenhaguen, el desembre del 2009, per primera vegada una entitat subestatal, Catalunya, va tenir un estand propi a la sala C6 de la Seu Oficial de la Conferència de les Parts, al costat dels estats representats i a pocs metres de les delegacions de França i dels Estats Units.

Els documents preparatoris de la COP de París (ADP.2015.8, del 5 d'octubre) reconeixen expressament el paper tan important de les autoritats subestamentals i locals en la lluita contra el canvi climàtic i creen una Zona per a l'Acció Climàtica d'Actors no Estamentals (NAZCA).

Catalunya també ha participat en les declaracions de Saint-Malo (2008), Montevideo (2010) i Quebec (2011), reunions impulsades pels governs subestamentals més interessats en la lluita contra el canvi climàtic.

22.2.3. El reconeixement de la rellevància dels governs locals en l'àmbit internacional

Malgrat que és indiscutible que els governs locals actuen i tenen una gran capacitat de lideratge i d'avenç, superior en molts aspectes a la dels governs estamentals, fins ara han rebut un reconeixement més aviat escàs i a les diverses conferències internacionals els han tractat, incomprensiblement, com a organitzacions no governamentals. Només recentment, i després de ser molt actius en la reclamació, han començat a rebre el reconeixement que mereixen i la condició d'institucions governamentals (aquest estatus va ser reconegut pel Conveni marc de les Nacions Unides pel canvi climàtic a la 16a Conferència de les Parts, COP16, a Cancún, el 2010).

Amb el lideratge de la xarxa Governos Locals per la Sostenibilitat (ICLEI), el món local també va participar activament a la conferència Rio+20, on va fer pressió perquè fos involucrat en la presa de decisions en diferents àmbits del desenvolupament sostenible, incloent-hi el canvi climàtic.

- Avançar cap a una governança multinivell per al desenvolupament sostenible i definir conjuntament estratègies per a assolir els objectius de desenvolupament del mil·lenni i del desenvolupament sostenible.
- Reconèixer els governs locals i subestamentals com a grups d'interès governamentals rellevants per al desenvolupament dels marcs legals internacionals.
- Facilitar més representativitat i capacitat d'influència dins de l'ONU per tal de garantir l'aplicació efectiva dels acords globals.
- Crear nous mecanismes financers nacionals i internacionals per a fomentar un desenvolupament més sostenible i millorar l'accés a les autoritats locals i subestamentals.

Durant aquests últims decennis, molts governs locals han passat de ser simples executors de la legislació i de les polítiques nacionals a ser impulsors i líders destacats en aquestes matèries. Tot i això, dins d'un marc de multigovernança nacional i internacional, l'acció dels governs locals depèn i dependrà de les condicions generals que hom els dóna. Perquè els governs locals puguin aportar solucions ràpides i radicals (d'arrel), necessiten que el potencial d'acció sigui reconegut, defensat

i facilitat. Els governs nacionals i estatals han de ser més sensibles al món local. Amb una aproximació més «prolocal» es poden repetir i ampliar iniciatives pioneres que serviran de base per a l'impuls de polítiques i programes de lluita contra el canvi climàtic.

D'altra banda, el *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC assenyalava les grans diferències en la capacitat d'adaptació entre ciutats, els factors que influeixen en aquesta variabilitat, les limitacions que pot tenir l'adaptació sense un acord global i efectiu de reducció de les emissions i la necessitat d'una adaptació transformativa que també s'ocupi dels reptes de desenvolupament i mitigació.

Pel que fa a la governança local, segons el *Cinquè informe d'avaluació* (Revi et al., 2014):

- L'acció als centres urbans és essencial, atès que comprenen més de la meitat de la població mundial i una proporció important de les activitats econòmiques, la major part de les quals es troben en risc a causa del canvi climàtic i de l'elevada generació d'emissions. L'adaptació climàtica urbana pot contribuir a la resiliència i al desenvolupament sostenible.
- Els riscos, les vulnerabilitats i els impactes del canvi climàtic urbà augmenten mundialment en centres urbans de totes les mides, condicions econòmiques i tipologies. A més, els sistemes urbans influeixen en el microclima, de manera que poden agreujar el risc climàtic.
- L'adaptació implica oportunitats per a evolucionar cap a una resiliència i un desenvolupament sostenible per mitjà d'una governança del risc multinivell, l'alineació de les polítiques i els incentius, l'enfortiment de la capacitat d'adaptació dels governs i les comunitats locals, les sinergies amb el sector privat, el finançament i el desenvolupament institucional.
- La gestió del risc de desastres a les ciutats és una base sòlida per a fer cara a una exposició i una vulnerabilitat creixents i a la construcció de l'adaptació. Reduir els dèficits en serveis bàsics (com ara el subministrament de l'aigua, el tractament de les aigües residuals, el clavegueram, l'electricitat, el transport i les telecomunicacions, la sanitat, l'educació i les emergències) i construir sistemes d'infraestructures

eficients pot reduir significativament l'exposició al risc i a la vulnerabilitat. L'habitatge assequible, de qualitat i ben ubicat proporciona una base sòlida per a l'adaptació.

- Adaptar-se és possible i es pot accelerar. La capacitat de les persones en els governs locals accelera i millora l'adaptació.

22.3. Les polítiques europees i estatals

22.3.1. El paquet legislatiu d'energia i clima

La UE és i ha estat un dels llocs del món a l'avantguarda de la lluita contra el canvi climàtic i la seva política és definida per les directives i els reglaments europeus aplicats a tots els estats.

El paquet legislatiu d'energia i clima té com a objectius reduir les emissions en un 20 % per a l'any 2020 respecte de les emissions de l'any 1990, garantir que almenys un 20 % de l'energia global europea provingui de fonts renovables i millorar l'eficiència energètica en un 20 %.

Segons les dades de l'Agència Europea de Medi Ambient (AEMA, 2015), la UE és una complidora fidel del Protocol de Kyoto tant en la primera etapa (2008-2012), en la qual en conjunt ha complert d'una manera clarament satisfactòria, com en la segona etapa, en la qual s'ha compromès (2013-2020).

Aquest programa europeu d'energia i clima (2020-2020, per al 2020), aprovat el desembre del 2008, s'ha desplegat i està en ple funcionament a tots els estats europeus. Com a part del paquet d'objectius en energia i clima per a l'any 2030, la UE s'ha compromès a reduir les emissions domèstiques (les internes) en un 40 % respecte de les emissions del 1990. També té plantejada la reducció d'un 80 % a un 85 % de les emissions per a l'any 2050 [COM(2011) 112 final; COM(2015) 337 final; INDC de la UE, 6 de març del 2015, Riga], respecte de les emissions de 1990, un esforç molt considerable i totalment necessari per a reduir les emissions globals del planeta.

El foment de les energies renovables, la creació d'un mercat europeu de drets d'emissió, l'eficiència energètica, la reducció de les emissions de la gestió dels residus, el transport i els edificis es

troben, entre d'altres, a l'agenda europea contra el canvi climàtic [Consell Europeu sobre la Unió de l'Energia, del 19 de març del 2015; COM(2015) 337 final].

L'Estat espanyol ha complert els compromisos (del 37 % de reducció) del Protocol de Kyoto (2008-2012), tal com es va aprovar al Parlament espanyol (per unanimitat) l'any 2002, però ha hagut de comprar drets d'emissió a l'exterior (per a les emissions que no s'inclouen en el comerç europeu de drets d'emissió) en quantitats significatives: 750 milions d'euros segons les dades apuntades el dia 1 de febrer del 2012 pel ministre Arias Cañete a la Comissió núm. 33, 2a secció, de les Corts Generals.

No s'ha territorialitzat ni el repartiment de compromisos de reducció entre les comunitats autònomes ni els esforços i els estímuls per a produir reduccions al sector de les emissions difuses (l'agricultura, la mobilitat, les indústries que no estan subjectes al mercat de drets d'emissions i la gestió dels residus, entre d'altres), cosa que és contradictòria amb el que seria adequat en un estat en el qual les autonomies tenen la major part de les competències en aquests sectors.

L'any 2007 es va aprovar el Pla Nacional d'Assignacions i l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i d'Energia Neta. S'han anat aplicant les diferents directives europees de canvi climàtic, algunes de les quals amb retards, i de moment sembla que hi ha una voluntat clara, per part del Govern central actual, que el paper de les autonomies en temes de canvi climàtic sigui marginal.

Els projectes de reducció d'emissions els trobem definits al Reial decret 1494/2011, del 24 d'octubre, pel qual es regula el fons de carboni per a una economia sostenible. El 15 de febrer del 2013 s'hi van destinar deu milions d'euros i el 2015 ja n'eren quinze.

22.3.2. L'Estratègia Europea d'Adaptació al Canvi Climàtic

La Comissió Europea, conscient de la necessitat d'establir un marc comú integrat i coordinat per a reduir la vulnerabilitat del territori al canvi climàtic, va aprovar l'abril del 2013 l'Estratègia Europea

d'Adaptació al Canvi Climàtic [COM(2013) 216 final], que inclou tres objectius principals:

- 1) Promoure l'acció dels estats membres per mitjà de l'adopció d'estratègies d'adaptació. Pel que fa a les ciutats, engega una nova iniciativa basada en el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia.
- 2) Promoure la presa de decisions més ben informada millorant el coneixement i compartint-lo per mitjà de plataformes com ara el Climate-ADAPT.
- 3) Promoure l'adaptació als sectors més vulnerables.

L'estratègia remarca que la incertesa en els efectes del canvi climàtic no s'ha d'esgrimir com a excusa per a no actuar. Cal insistir en la incorporació d'opcions d'adaptació positives per a tothom, de baix cost i que comportin resultats garantits, entre les quals cal esmentar la gestió sostenible de l'aigua i els sistemes d'avís. D'altra banda, subratlla que les solucions basades en els ecosistemes són rendibles en general: són accessibles i proporcionen beneficis múltiples. Les mesures d'adaptació es relacionen entre si i s'han d'aplicar d'una manera concertada i coordinada amb les polítiques de gestió del risc de desastres.

22.3.3. El Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic

El Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic (PNACC; OECC, 2006) és el marc de referència per a la coordinació entre les administracions públiques en les activitats d'avaluació, impactes, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic a Espanya, i es duu a terme mitjançant programes de treball proposats per l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic (OECC).

El tercer programa, aprovat l'any 2013, parla específicament de la *governança* i la defineix com una direcció i administració eficaç, inclusiva, coordinada i de qualitat que considera tota la complexitat associada i la necessitat d'atendre equilibradament totes les dimensions, nivells, interessos i agents. Inclou tot un seguit d'accions per a augmentar les capacitats col·lectives, com, per exemple, la coordinació interadministració i intraadministració, la interacció entre ciència, planificació i gestió o la capacitat.

Per primera vegada, el PNACC també fa referència a l'àmbit urbà. Reconeix que les ciutats fan

cara a impactes que afecten àrees, serveis i sectors diversos en què la planificació i la gestió local exerceixen un paper rellevant per a minimitzar la vulnerabilitat. Estableix diferents mesures, com ara l'anàlisi dels efectes del canvi climàtic en els serveis municipals principals, el desenvolupament d'una guia per a l'aplicació d'eines per a l'adaptació al planejament urbà, l'intercanvi de bones pràctiques, la formació de tècnics i d'experts municipals, el desenvolupament d'una metodologia d'anàlisi cost-benefici i l'establiment d'indicadors.

22.4. Les polítiques i els instruments catalans

22.4.1. Les polítiques de mitigació

El 26 d'agost del 2003 (Decret 198/2003) es va crear la Comissió Catalana del Canvi Climàtic sota la presidència del conseller en cap, aleshores Artur Mas. El desembre del 2003 una representació de l'Administració de la Generalitat va ser present a la COP9, a Milà, i posteriorment sempre ha participat en les diverses conferències de l'ONU.

A final del 2006 el Govern de Catalunya es va dotar de dos instruments molt importants: l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, per mitjà del Decret 573/2006, del 19 de desembre, de reestructuració parcial del Departament de Medi Ambient i Habitatge, i la Comissió Interdepartamental de Canvi Climàtic, que es va constituir formalment el 5 de març del 2007.

El 7 d'octubre del 2008 el Govern va aprovar el Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012 (GOV/161/2008, del 7 d'octubre), en el qual es concretaven quantitativament els objectius de reducció de les emissions difuses en 5,33 Mt CO₂ equiv. anuals durant aquest període, d'una manera coordinada i integrada en el conjunt de l'acció de govern de la Generalitat, després d'un procés participatiu de tots els interessats de la societat civil, les empreses, les universitats, el món local i el món científic.

Prèviament, el Pla Marc s'havia presentat a la vuitena sessió temàtica del Parlament Europeu, els dies 22 i 23 de juny del 2008, com a resposta a la invitació a la presentació de «Les millors pràctiques del grup *ad hoc* de canvi climàtic».

El Pla Marc ha tingut un seguiment anual dels resultats durant els cinc anys de vigència, i en l'últim informe es conclou que Catalunya ha complert la part proporcional d'esforç pel que fa a la reducció de les emissions difuses que li correspondrien segons l'objectiu de reduccions fixat en el període d'aplicació del Protocol de Kyoto (2008-2012) per a l'Estat espanyol. I no solament ha complert sinó que la mitjana d'emissions difuses de Catalunya és inferior a l'objectiu de limitació «incrementat» de les emissions establertes pel Protocol de Kyoto per a l'Estat espanyol.

L'11 de juny del 2012 el Departament de Territori i Sostenibilitat va anunciar que Catalunya tindria una llei de canvi climàtic en un futur proper i es va iniciar un procés de consulta i participació; el 25 de maig del 2015 va sortir a informació pública l'Avantprojecte de llei, i el febrer del 2016 el Govern català va aprovar el Projecte de llei per presentar-lo al Parlament.

Durant aquests anys s'han presentat i posat en marxa moltes altres iniciatives legislatives, entre les quals l'Estratègia Catalana contra el Canvi Climàtic, el Pla d'Energia i Canvi Climàtic 2013-2020 i l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic, horitzo 2013-2020, aprovada el 13 de novembre del 2012.

El Pla d'Energia i Canvi Climàtic (2012-2020) és una bona referència per a veure la voluntat política positiva del Govern de la Generalitat, ja que estableix una relació important entre l'energia i el canvi climàtic, optimitza els esforços i integra polítiques transversals al conjunt de l'acció del Govern. Així, es plantegen d'una manera intel·ligent accions estratègiques globals en el sistema energètic a Catalunya per a l'any 2030.

És importat tenir presents les conclusions i les conseqüències positives de l'avaluació del Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012. El 21 d'octubre del 2015 el Govern català va aprovar la contribució prevista d'àmbit nacional de Catalunya pel que fa als objectius relatius al canvi climàtic, en la mateixa línia de treball de molts altres actors subestatsals del món, com ara la Colúmbia Britànica, Califòrnia, Oregon, el Quebec, el País Basc, la Llombardia, Escòcia i Gal·les, entre d'altres.

22.4.2. Els acords voluntaris

El Programa d'Acords Voluntaris per a la Reducció de les Emissions de Gasos amb Efecte d'Hivernacle, promogut per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, pretén contribuir a la presa de consciència de la societat catalana de l'impacte individual i col·lectiu en el canvi climàtic. L'acord voluntari és un compromís que qualsevol organització, empresa, entitat o col·lectiu pot assumir per a reduir les emissions més enllà del que estableix la normativa. És una iniciativa pensada per a les entitats que, tot i no ser incloses en els règims de comerç de drets d'emissió, volen conèixer i disminuir l'impacte per mitjà d'uns inventaris d'emissions, mesures per a la reducció i un seguiment anual.

El programa va començar l'any 2010 amb deu organitzacions i a principi del 2016 ja hi ha més de cent cinquanta entitats adherides, que conjuntament estalvien l'emissió de 484.000 t CO₂ equiv. (dada estimada del 2014).

En aquesta línia, però en l'àmbit domèstic, l'any 2015 s'ha posat en marxa el Programa Voluntari de Compensació de Gasos amb Efecte d'Hivernacle.

22.4.3. L'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic

L'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC; OCCC, 2012) defineix les mesures perquè Catalunya sigui menys vulnerable als impactes del canvi climàtic. Estableix dos objectius operatius (la generació i transferència de coneixement i l'augment de la capacitat adaptativa) i sis objectius transversals. Aquests objectius es concreten en una sèrie de mesures d'adaptació per a cada sector socioeconòmic i/o sistema natural estudiat.

L'ESCACC destaca que el 80 % de les actuacions per a fer cara al canvi climàtic s'implanten en el si dels governs subestats i locals i descriu el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia com un marc idoni per al desenvolupament d'actuacions tant de mitigació com d'adaptació locals. Tanmateix, cal avançar en la concreció de les mesures.

Per realitzar el seguiment de la capacitat adaptativa de Catalunya, s'ha definit un indicador sintètic

que es calcula mitjançant vint-i-nou subindicadors, però que bàsicament és determinat per dos factors clau: l'ús dels recursos i la qualitat ambiental.

L'indicador sintètic d'adaptació mostra un nivell mitjà; un aprovat just. L'evolució d'aquesta capacitat ha estat lleugerament decreixent en els darrers anys (2005-2011).

22.5. Les polítiques i els instruments locals

22.5.1. El Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia

Les autoritats que signen el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia (Covenant of Mayors) es comprometen a elaborar un inventari d'emissions de referència, a presentar un pla d'acció per a l'energia sostenible (PAES), que resumeix les accions que preveuen dur a terme, i a elaborar els informes de seguiment respectius. També es comprometen a promoure activitats, a implicar la ciutadania i a difondre el missatge del pacte. D'altra banda, els adherits al pacte es proposen superar l'objectiu de la UE de reduir en un 20 % les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle abans del 2020.

La participació en el pacte proporciona als municipis el reconeixement del paper destacat en la mitigació del canvi climàtic i recursos i oportunitats per a establir les xarxes necessàries per a anar un pas més enllà dels compromisos climàtics i energètics. Malgrat aquests avantatges i la rellevància indiscutible d'aquesta iniciativa, aquest pacte presenta certes dificultats per als municipis, ja que es comprometen a reduir emissions en àmbits sobre els quals sovint no tenen competències, el càlcul de les emissions en alguns sectors és tècnicament complicat (especialment, en els temes de mobilitat) i el pacte no inclou finançament. També cal esmentar les dificultats amb què es troben els municipis en el foment de les energies renovables a causa dels canvis normatius de l'Estat espanyol.

En aquest sentit, cal destacar la tasca realitzada per les entitats coordinadores del Pacte, que han facilitat eines per a l'inventari d'emissions, el finançament, el suport tècnic i el seguiment, i les orga-

nitzacions que conformen, a Catalunya, el Club del Pacte d'Alcaldes.

A Catalunya, el 2015, hi ha més de 600 municipis que han subscrit aquest pacte (6.500 en l'àmbit europeu).

22.5.2. El Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses per l'Adaptació

El Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses per l'Adaptació (Mayors Adapt) és una iniciativa de la Comissió Europea que es va posar en marxa en el context de l'Estratègia d'Adaptació de la UE i que té el suport de l'Agència Europea de Medi Ambient.

Els municipis signants es comprometen a desenvolupar una estratègia d'adaptació local en dos anys i/o a integrar l'adaptació al canvi climàtic als plans existents, i per això hauran de dur a terme una anàlisi de vulnerabilitats, definir i prioritzar les mesures d'adaptació i fer-ne un seguiment.

Els membres de la Xarxa de Ciutats i Pobles cap a la Sostenibilitat, d'acord amb la Declaració de Vilanova i la Geltrú del 18 de març del 2014, es comprometen, segons aquest pacte, a crear estratègies d'adaptació o a integrar-les als plans.

Aquesta iniciativa també presenta certs reptes per als municipis, com ara la limitació pel que fa a les competències i a l'abast territorial, la dificultat tècnica a l'hora de dur a terme l'anàlisi de vulnerabilitats o una proposta d'accions i solucions que incorpori una anàlisi cost-benefici que tingui en compte els beneficis socioambientals.

A Catalunya, el 2015 hi ha prop de vint municipis que han subscrit aquest pacte.

22.5.3. El Nou Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia i altres compromisos internacionals

El 15 d'octubre del 2015, la Comissió Europea va presentar aquest nou pacte, que es basa en els tres punts següents: nous objectius per al 2030, el 40 % de reducció de les emissions i el 27 % d'augment de l'eficiència energètica i de les energies renovables. A més, significa la integració del Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia (Covenant of Mayors) i del Pacte d'Alcaldes i Alcal-

deses per l'Adaptació (Mayors Adapt) en un sol pacte, cosa que afavoreix el desenvolupament de sinergies entre la mitigació i l'adaptació i una nova dimensió internacional.

En l'àmbit internacional existeixen diverses iniciatives similars, com ara el Compromís pel Clima (Compact of Mayors), l'Acord de la Conferència d'Alcaldes dels Estats Units d'Amèrica per a la Protecció del Clima (United States Conference of Mayors Climate Protection Agreement, 2005), la campanya Desenvolupant Ciutats Resilients (Making Cities Resilient, 2010), el Pacte Climàtic Global de Ciutats o Pacte de la Ciutat de Mèxic (Global Cities Covenant on Climate o Mexico City Pact, 2010) i la Carta d'Adaptació de Durban (Durban Adaptation Charter, 2011).

22.5.4. Eines per al món local

Les autoritats locals disposen de diverses eines de governança, algunes de les quals s'han anat apuntant al llarg del capítol.

22.5.4.1. Inventaris i bases de dades

La primera eina de governança és l'obtenció i la publicació d'informació. Els governs locals disposen de metodologies de càlcul que faciliten la comparabilitat entre les dades de diferents geografies i que permeten calcular la contribució local de reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en objectius també locals. Ja s'han esmentat els diferents inventaris que existeixen, com ara el Compromís pel Clima (Compact of Mayors), el Registre Climàtic de Carboni (Carbon Climate Registry), el Projecte de Divulgació del Carboni (Carbon Disclosure Project) o l'Inventari d'Emissions de Referència dels PAES.

Pel que fa a l'adaptació, existeixen diverses guies metodològiques per a dur a terme les anàlisis de vulnerabilitats i, en el cas de Catalunya, també hi ha disponibles projeccions climàtiques.

22.5.4.2. La planificació estratègica

Pel que fa a la planificació de la mitigació, ja s'han esmentat els PAES. La planificació urbana de l'adaptació no s'ha protocol·litzat tant, però hauria de ser un procés sistemàtic i cíclic que podria seguir els passos suggerits per l'Agència Ambiental Europea, que mostra la figura 22.1.

22.5.4.3. L'intercanvi d'experiències i treball en xarxa

Per tal de guanyar potència i eficàcia, les ciutats s'han organitzat en xarxes d'àmbit global, com ara la xarxa Ciutats i Governaments Locals Units (UCLG) o l'ICLEI, o d'àmbit regional, com ara l'Eurocities. Aquests programes estimulen la innovació, l'intercanvi d'experiències i el *benchmarking* entre ciutats, a més de fomentar la implicació dels ciutadans a cada lloc.

En l'últim decenni, la xarxa de l'ICLEI ha engegat programes i projectes molt influents destinats a abordar el canvi climàtic. En el tema de l'adaptació i la resiliència, destaquen el projecte RAMSES, el Cities Adapt, la participació en l'organització de congressos com ara el fòrum anual sobre resilièn-

cia i adaptació urbanes (Bonn Resilience Cities) o la Conferència Europea sobre Adaptació al Canvi Climàtic.

La campanya Making Cities Resilient (2010-2015), de l'Oficina de les Nacions Unides per a la Reducció de Riscos de Desastres (UNISDR), pretén desenvolupar solucions innovadores per a reduir els riscos als desastres per mitjà de la governança, la sensibilització, la provisió d'eines, el compromís de treballar per a uns objectius comuns, etcètera.

La xarxa C40 Cities Climate Leadership Group ofereix un fòrum d'intercanvi d'experiències en el qual les ciutats poden col·laborar, compartir coneixement en xarxes temàtiques i gestionar i mesurar l'acció climàtica.

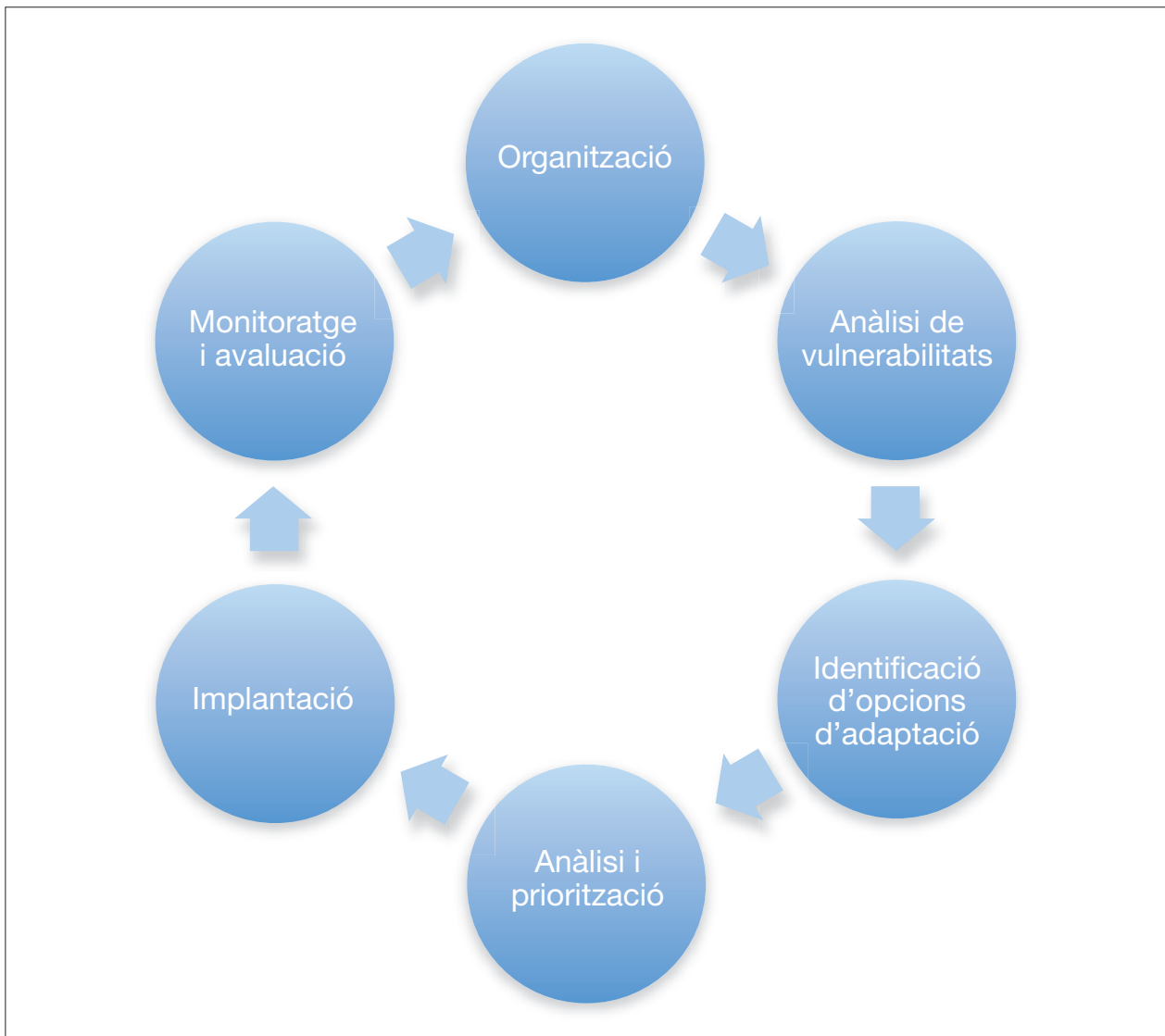


FIGURA 22.1. Passos suggerits per l'Agència Ambiental Europea en l'informe *Urban adaptation to climate change in Europe*.

En l'àmbit estatal destaca la Xarxa Espanyola de Ciutats pel Clima, a la qual s'han adherit més de vint-i-cinc municipis catalans que treballen en xarxa i coordinadament per obtenir més bons resultats en la lluita contra el canvi climàtic.

22.5.4.4. *La normativa*

En l'àmbit local també es pot utilitzar la normativa com a eina per a fomentar la lluita contra el canvi climàtic. N'existeixen nombrosos exemples: les ordenances (com ara les ordenances solars), les mesures de govern (com ara els terrats vius de l'Ajuntament de Barcelona), les normes d'edificació, el planejament urbanístic, etcètera.

22.5.4.5. *La coresponsabilitat*

La lluita contra el canvi climàtic no es pot fer només des de l'Administració. Cal la complicitat de la ciutadania a tots els nivells. És imprescindible proporcionar informació entenedora sobre les causes d'aquest tema tan complex per a comprendre'l més bé, però també sobre les solucions. És necessari dur a terme processos de participació quant a les polítiques públiques relacionades amb el canvi climàtic i establir programes d'educació ambiental.

Pel que fa als processos de participació, destaca el Compromís de Barcelona pel Clima, un full de ruta compartit entre l'Ajuntament de Barcelona i les organitzacions signants del Compromís Ciutadà per la Sostenibilitat en el qual es prioritzen alguns projectes municipals i es proposen diversos projectes de ciutat col·laboratius. També destaca la Taula Municipal sobre el Canvi Climàtic de Girona, un òrgan de consulta i participació ciutadana que incorpora experts i representants dels sectors econòmics i d'altres administracions en un entorn urbà en el qual les problemàtiques ambientals i energètiques sovint ultrapassen els límits municipals.

Pel que fa a l'oferta educativa, són rellevants els serveis oferts (com ara recursos pedagògics o activitats) per la Diputació de Barcelona, l'Àrea Metropolitana de Barcelona i la Generalitat de Catalunya. Per primera vegada s'ha dut a terme el I Fòrum Metropolità d'Educació per a la Sostenibilitat, amb l'objectiu de proveir un espai de trobada i coneixença que permetés intercanviar experiències i recursos per treballar amb la màxima coordinació

per a un territori educador en matèria de sostenibilitat.

22.6. El mercat d'emissions

22.6.1. *Una breu introducció*

El fet de posar preu a les emissions de CO₂ ha esdevingut, des del 2005, una eina clau per a lluitar contra el canvi climàtic i, concretament, per a reduir les emissions procedents dels sectors industrials. En els darrers deu anys s'ha progressat significativament en aquest sentit, i el 2015 prop de quaranta països i més de vint jurisdiccions subestats, responsables aproximadament d'un quart de les emissions energètiques mundials de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH), han optat pels mecanismes de mercat, l'aplicació de taxes o ambdues opcions combinades a l'hora de determinar el preu del carboni.

Tot i que el mercat d'emissions, en el sentit més ampli, es pot considerar un mecanisme d'acció global, el sistema de comerç més important i més desenvolupat fins ara és el règim europeu de comerç de drets d'emissió (EU ETS), en el qual participen tots els estats membres de la UE a més d'Islàndia, Noruega i Liechtenstein, i el qual cobreix les emissions de més de 12.000 instal·lacions industrials i de prop de 800 operadors d'aerolínes. Els sectors inclosos a la Directiva de comerç de CO₂ representen prop del 45 % de les emissions de GEH d'Europa, que, d'altra banda, representen prop de l'11 % de les emissions energètiques de GEH del món. Es tracta, doncs, de l'instrument central de la política de la UE per a assolir els objectius d'energia i clima per al 2020. Recentment, els caps d'estat de la UE s'han reafirmat en el compromís de mantenir l'EU ETS com a instrument principal per a assolir l'objectiu de reducció de les emissions en un 40% per al 2030, respecte de les emissions reals emeses a l'atmosfera el 1990 per la UE-28.

Pel que fa a Catalunya, el 2014 el nombre d'instal·lacions sotmeses al règim de comerç va ser de 153, de les quals 22 es trobaven en situació d'exclusió. En total van emetre 13,2 Mt CO₂ equiv., 3,85 Mt CO₂ equiv. més de les assignacions rebudes gratuïtament, cosa que representava prop del 35 % de les emissions catalanes. El sector més deficitari va ser, novament, el de la generació elèctrica.

Malgrat que no existeixen dades oficials sobre el comportament de les instal·lacions i les empreses al mercat de compravenda de drets d'emissió, en general podríem qualificar el paper de Catalunya de normal, en la mateixa línia que la resta d'instal·lacions europees. En l'anàlisi de l'assignació gratuïta respecte de les emissions, es comprova que tant el sector energètic (el 47 % de les emissions) com el sector industrial (el 53 % de les emissions) són deficitaris, tot i que hi ha una certa tipologia d'establiments industrials (com ara les fonderies, les papereres o les indústries que es dediquen a la producció de calç, ceràmica, productes orgànics en brut, hidrogen i gasos de síntesi) que continuen amb superàvit de drets. Amb la informació pública disponible no és possible saber amb certesa si les instal·lacions deficitàries van comprar els drets que els mancaven o si van aprofitar els drets assignats i arrossegats d'exercicis anteriors. Tampoc no és possible saber si les que van tenir excedents van vendre els drets no utilitzats o si els van guardar per a més endavant perquè preveïen un possible dèficit futur o, simplement, esperaven preus més alts. En qualsevol cas, es tracta de decisions estratègiques per a les empreses que parlen a favor dels mercats com a reguladors de l'oferta i la demanda, ja que fixen un preu dels drets de CO₂ que n'incentivi l'estalvi.

22.6.2. D'on venim? Període de compliment 2008-2012

La segona fase del règim europeu de comerç de drets d'emissió de CO₂ coincideix amb el primer període de compromís acordat al Protocol de Kyoto (2008-2012). Prèviament, la Comissió Europea ja havia posat en funcionament una primera fase de «prova» del mecanisme de mercat, que es va allargar durant tres anys, del 2005 al 2007. Tot i que el règim va funcionar correctament pel que fa a la tècnica, unes assignacions de drets gratuïts generalment laxes i el fet de no permetre'n l'arrossegament a la fase següent van comportar que el preu del CO₂ es desplomés a mínims residuals d'aproximadament 0,04 €/unitat.

Per evitar que la segona fase heretés els mateixos problemes que l'etapa de prova, la Comissió Europea va aplicar una sèrie de mesures correctores que pretenien moderar l'oferta disponible, incentivar la demanda i, en definitiva, evitar que el CO₂

tornés assolir un valor residual. D'una banda, es va reduir la distribució gratuïta de drets a les instal·lacions. Entre el 2008 i el 2012 es va lliurar gratuïtament un 6,5 % menys de drets d'emissió europeus de CO₂ (EUA). D'altra banda, es va permetre que els estats membres poguessin subhastar en lloc de lliurar gratuïtament una part de l'assignació com a país. Finalment, la mesura definitiva va consistir a permetre l'arrossegament (*banking*) dels drets sobrants de la segona fase a la tercera fase (2013-2020), cosa que evitava que «caduquessin».

L'EU ETS va continuar sent el règim de comerç de drets d'emissió internacional principal. El volum negociat va anar creixent progressivament, i va passar de 3.100 milions de drets el 2008 a 6.800 milions de drets el 2010, quan la negociació de l'EUA va arribar al 84 % del valor total del mercat de carboni. El 2012 es van superar els 10.000 milions de drets negociats, és a dir, el 70 % del volum global i el 88 % del valor. Malgrat el creixement en termes de volum, es va produir un descens del 35 % en termes de valor a causa d'una caiguda de preus que, tal com mostra la figura 22.2, va ser prou significativa, ja que va superar el 45 % de la davallada respecte al 2011.

El preu del CO₂ va arribar a les cotes més altes a començament del període, quan el dret europeu s'acostava als 30 €/unitat, i hi ha tres motius que ho justifiquen. En primer lloc, la manca de liquiditat existent al mercat d'emissions principal a causa de la fallada en la interconnexió entre el Registre Comunitari Independent de Drets d'Emissió (CITL) i el Registre Internacional de Drets d'Emissió (ITL), cosa que va provocar un desproveïment clar de l'oferta. En segon lloc, el preu del petroli es va situar a nivells màxims, superiors als 140 \$ durant l'estiu del 2008, de manera que va actuar com un controlador molt potent del CO₂. Com més alt era el preu del petroli, més augmentava la tendència a substituir els combustibles derivats del cru pel carbó, més econòmic però també més emissor, cosa que va afavorir un increment en la demanda de drets. En tercer lloc, el fet de disposar de nous drets per al període 2008-2012 i deixar enrere els drets «caducats» de la fase anterior, juntament amb l'avantatge de poder-los arrossegar al post-Kyoto, a partir del 2013, va ajudar a crear una tendència alcista al mercat que va durar fins

a l'últim trimestre del 2008. Un cop la major part dels països va concloure el lliurament de l'assignació gratuïta, la liquiditat i l'oferta van augmentar significativament, cosa que va fer saltar l'alarma. La crisi econòmica i financera global estava a l'apogeu i colpejava Europa amb una virulència especial. Els nivells de producció, de demanda energètica i, consegüentment, de drets d'emissió van descendir: hi havia més oferta i menys demanda, cosa que comportava la repetició de les problemàtiques del període anterior. L'EUA va baixar per sota dels 10 € a començament del 2009 i posteriorment es va establir entre els 12 i els 15 € fins a començament del 2011, quan les anomenades *primaveres àrabs*, la desgràcia del tsunami a Fukushima i la crisi de confiança consegüent sobre l'energia nuclear, liderada per Alemanya, van comportar l'assoliment de nivells màxims propers als 17 € a la segona meitat del període. A mitjan 2011, una combinació d'esdeveniments va desencadenar una nova caiguda de preus per sota dels 7 € a

final del 2012. La crisi de deute sobirà a la zona euro, la proposta europea d'eficiència energètica 20-20-20, l'acord tan feble aconseguit a la COP de Durban i l'excedent creixent de drets d'emissió provocat per la crisi van ser les causes principals de la caiguda del valor del CO₂ a final del període.

Pel que fa als crèdits de reducció d'emissions (CER) procedents de mecanismes de desenvolupament net (CDM), l'evolució va ser paral·lela a la de l'EUA. Al principi del període, la diferència de preu entre l'EUA i el CER, anomenada *spread*, va assolir màxims propers als 8 €. A mesura que l'EUA va anar perdent valor, l'*spread* també es va anar reduint, ja que el preu del CER també descenia però amb menys intensitat. Entre el novembre del 2008 i el maig del 2010 el diferencial de preus va arribar al nivell més baix i es va situar prop dels 0,5-1,5 €. A partir d'aquest moment l'*spread* es va incrementar considerablement i es va situar prop dels 2,5-3,5 € fins a començament del 2012. A fi-

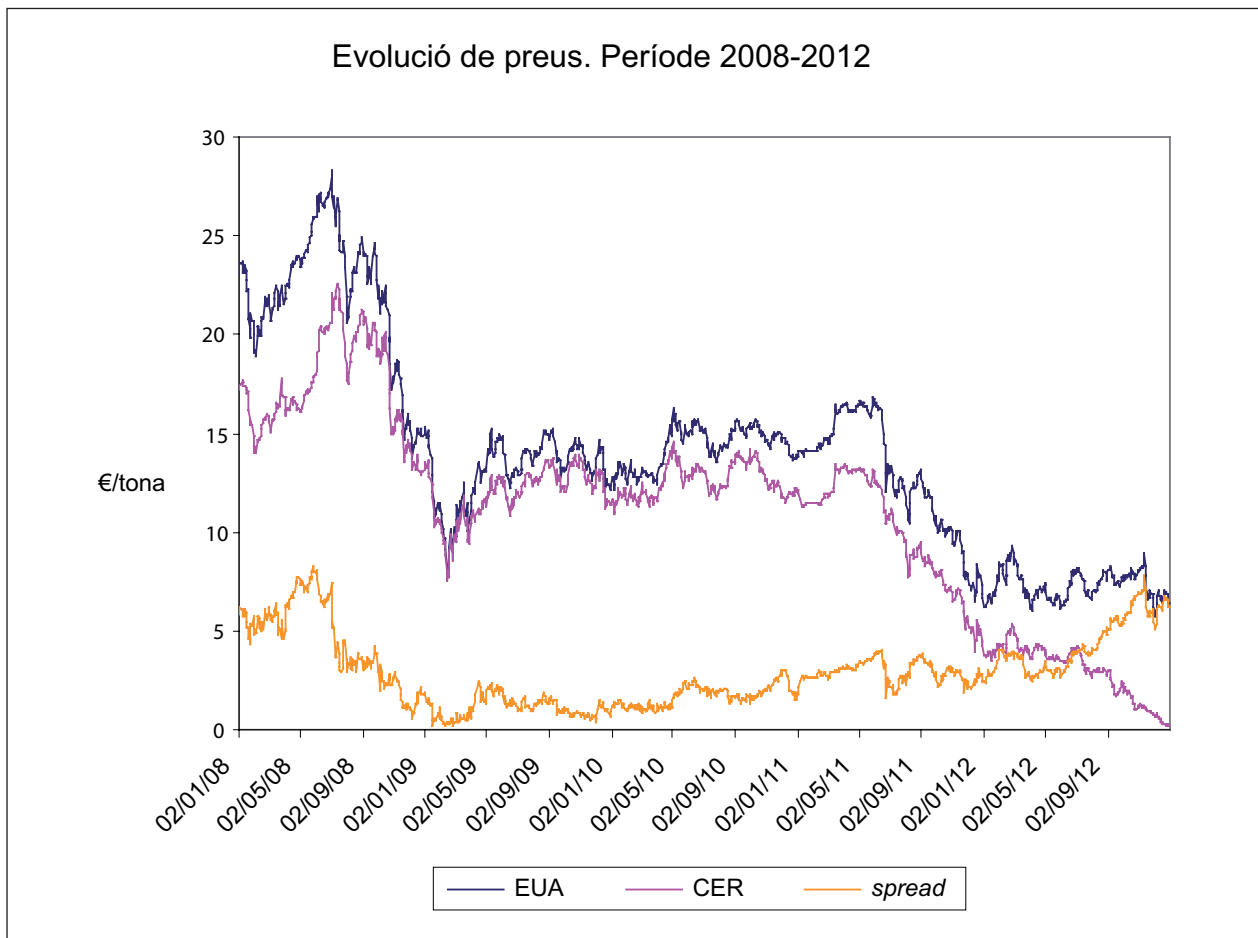


FIGURA 22.2. Evolució de preus durant el període 2008-2012.

Font: SENDECO2.

nal del gener del 2012, l'EUA va recuperar nivells propers als 8 € i, acompanyat d'un excedent de crèdits i del fet que molts d'aquests crèdits, que eren vàlids per al compliment de la segona fase, deixarien de ser-ho a la tercera fase, va acabar enfonsant el preu d'aquest valor per sota dels 0,30 €. Amb la forta depreciació del CER, es van recuperar diferencials oblidats i es van superar els 7,5 €.

22.6.2.1. *L'entrada en vigor del Registre Únic Europeu*

A mitjan 2012 va entrar en vigor el Registre Únic Europeu de Drets d'Emissió (EUTL), que substituïa els diferents registres nacionals existents fins aleshores. El nou registre proporcionava més seguretat i eficiència, ja que limitava els costos i unificava criteris i tecnologies. La major part dels gestors antics dels registres nacionals (RENADE, SERINGAS, APAT, RPLE, etc.) van continuar prestant serveis de suport tècnic a l'EUTL.

22.6.2.2. *La incorporació del sector de l'aviació a l'EU ETS*

A partir de l'1 de gener del 2012, el sector de l'aviació es va incorporar a l'EU ETS. Es tractava d'una fita important, ja que era el primer mitjà de transport en què les emissions passaven de considerar-se difuses a ser controlades i subjectes a les normes de la Directiva de comerç d'emissions. Cal destacar que l'aviació prenia el relleu al sector del ciment com a segon més deficitari de l'EU ETS i que afectava més de vuit-cents operadors. Es va crear una nova unitat específica per al sector, el dret d'emissió europeu per a l'aviació (EUAA), que podia ser negociada pels operadors aeris, però que no podia ser utilitzada per la resta de sectors.

22.6.3. *La situació actual: el període 2013-2020*

A partir de l'experiència i les lliçons apreses durant els dos primers períodes, la tercera fase va introduir canvis significatius. Les novetats principals aplicades han estat les següents:

- Aplicació de l'EUTL, a mitjan 2012, que va substituir els registres nacionals anteriors.
- Introducció d'un límit d'assignació de drets d'emissió d'àmbit europeu que substitueix les assignacions individuals dels estats membres. El topall d'assignació es redueix anualment en un 1,74 % fins al 2020 i proporciona un control

més precís de l'oferta i, potencialment, una estabilitat més gran dels preus.

- Introducció de la subhasta com a sistema prioritari d'assignació de drets. Cada any es deixen d'entregar gratuïtament prop del 50 % dels drets assignats. Això significa que cada any se subhastaran aproximadament 1.000 milions de drets.
- Supervisió de la UE de la capacitat de producció prèviament estimada pels operadors i de l'executada realment, ajustant l'assignació gratuïta any a any i evitant que instal·lacions sense producció la continuïn rebent.
- Creació d'un fons d'innovació, dotat amb drets d'emissió, per a finançar el desenvolupament de determinades tecnologies baixes en carboni (com ara el programa NER 300).

L'aplicació de les novetats descrites per al període 2013-2020 va marcar l'inici d'una fase més madura de l'EU ETS. Els anys de transició i d'aprenentatge es van acabar i es va passar a una fase de rendiment i funcionament. Malgrat aquests canvis, apareixen desafiaments nous i gens negligibles. El problema principal a què fa cara la nova fase és l'excés d'assignació heretada dels anys previs. A l'inici del nou període s'estima un excedent de 2.000 milions d'unitats que coincideix aproximadament amb l'assignació total europea d'un any sencer. Aquest excedent considerable és conseqüència de tres factors principals: la caiguda de la demanda en les seqüeles de la crisi financera, l'ús més gran d'energies renovables i les millores realitzades als processos productius. L'oferta inelàstica de drets d'emissió utilitzada fins aleshores ofereix l'avantatge de la simplicitat, però no permet ajustaments a les variacions de producció inesperades.

Davant de la situació excedentària descrita, que forçava a la baixa els preus i comprometia tot el sistema de mercat, la Comissió Europea va presentar una proposta de contingència a curt termini anomenada *backloading*. Aquesta proposta pretenia, transitòriament, posposar la subhasta d'una part dels EUA que els estats tenien dret a subhastar al principi del període i reintroduir-los més tard al final de la fase, amb l'esperança que la demanda s'hauria recuperat aprofitant la reactivació econòmica, alhora que es guanyava temps per a implementar mesures més estructurals. El

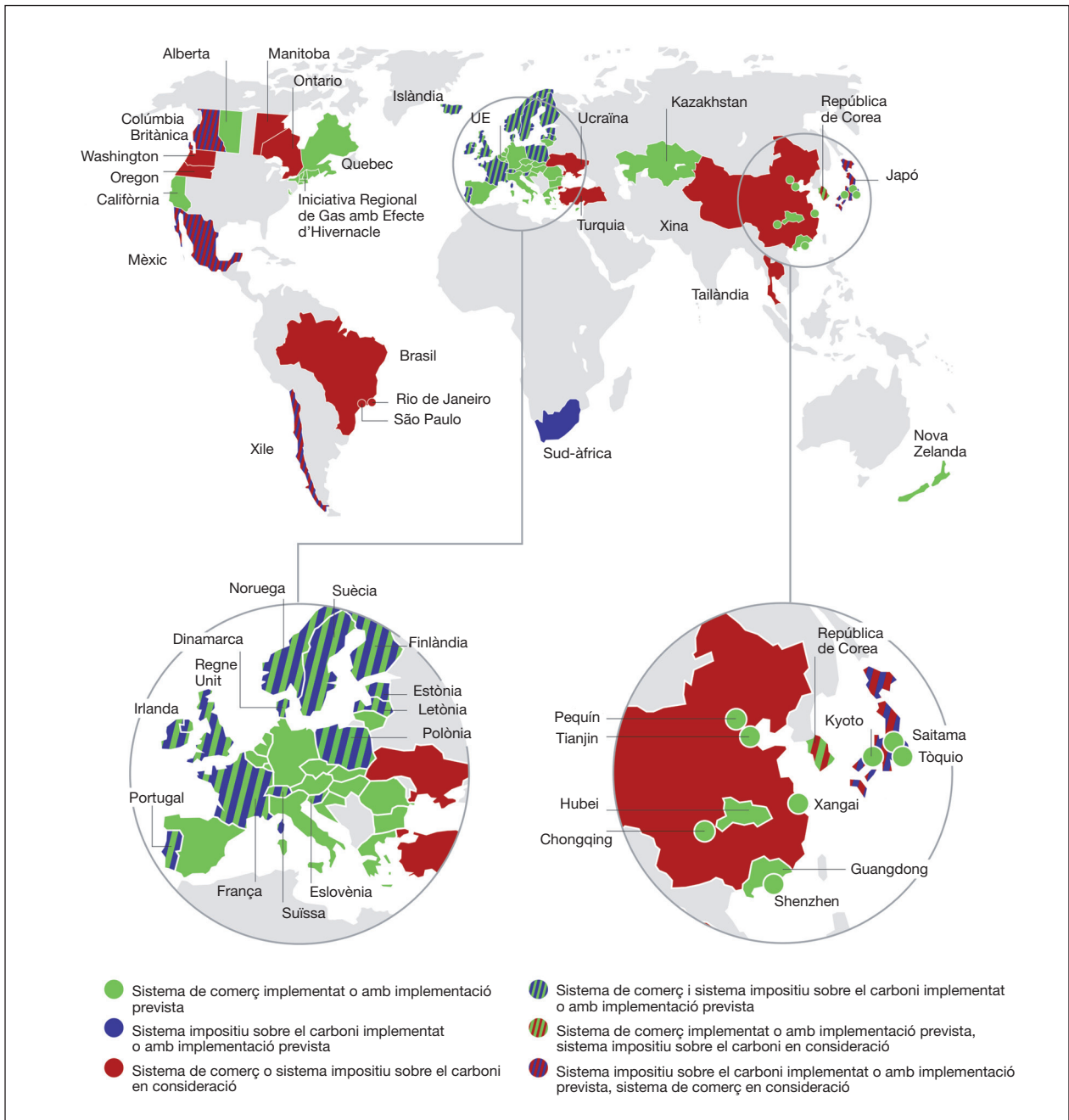


FIGURA 22.3. Mapa resum dels instruments regionals de fixació de preus existents, emergents o potencials al món.

Font: The World Bank, 2015; Carbon Pricing Watch.

2014 el volum de la subhasta es va reduir en 400 milions de drets d'emissió, l'any 2015, en 300 milions, i el 2016, en 200 milions. Tots aquests drets «congelats» s'haurien de reintroduir entre el 2019 i el 2020. El *backloading* es preveia com una mesura dirigida a reequilibrar l'oferta i la demanda a curt termini, mentre que s'examinaven reformes més substancials. Una d'aquestes reformes més estructurals que el mercat reclamava per a assegurar un equilibri més gran a llarg termini s'ha acordat

recentment. Es tracta de la reserva d'estabilitat de mercat (MSR), un mecanisme objectiu i reglamentat sobre drets d'emissió que regularia i flexibilitzaria l'oferta disponible depenent de la demanda existent. L'objectiu és permetre que el sistema sigui més resistent a futurs grans xocs en els nivells de demanda i corregir desequilibris potencials.

Globalment, tal com ja s'apuntava a l'inici d'aquest capítol, els sistemes de fixació de preus per mit-

jà dels mercats d'emissions o de taxes directes continuen evolucionant i creixent. En conjunt, els instruments de fixació de preus del carboni cobreixen 7 Gt CO₂ equiv. o prop del 12 % de la xifra global anual de GEH.

El valor econòmic total cobert pels règims de comerç de drets d'emissió a tot el món el 2014 s'estima en uns 32.000 milions de dòlars. Tot i la derogació del mecanisme de preus del carbó d'Austràlia el juliol del 2014, i principalment a causa de la posada en marxa de l'ETS de Corea del Sud i de l'expansió de la cobertura dels mercats de GEH de Califòrnia i el Quebec, el valor estimat el 2015 va augmentar lleugerament fins als 34.000 milions de dòlars. Segons les estimacions del Banc Mundial, els impostos aplicats directament al carboni serien aproximadament 14.000 milions de dòlars el 2015. Així, doncs, si sumem la cobertura dels mercats i els impostos generats directament s'obté un valor conjunt dels mecanismes de fixació de preus proper als 50.000 milions de dòlars.

Com a exemple del creixement que experimenten els mecanismes de fixació de preus arreu del món mencionarem el cas de la Xina, que fa temps que desenvolupa voluntàriament mesures per a reduir la intensitat de carboni per unitat de producte interior brut. Una de les mesures principals ha estat la creació de set mercats pilot, de caràcter regional, que actualment cobreixen prop de 1.100 Mt CO₂ anuals i que conjuntament representen el segon mercat mundial de drets després de l'europeu.

En l'àmbit nacional, la Xina s'ha compromès, per mitjà de l'acord EUA-Xina, del desembre del 2014, a arribar al punt màxim d'emissions de GEH al voltant del 2030, amb la voluntat d'intentar aconseguir-ho abans si es produïssin unes circumstàncies determinades. Un cop assolit el pic, la Xina es compromet a reduir gradualment les emissions. D'altra banda, també es compromet a posar en funcionament un mercat nacional el 2017, que substitueixi els mercats regionals actuals.

22.6.3.1. L'evolució de preus durant el període present

Les mitjanes mensuals de preus de l'EUA entre el 2013 i el 2015 mostren un interval amb mínims de 3,51 €/dret (el maig del 2013) i màxims de

8,51 €/dret (el novembre del 2015). El preu mínim es va assolir el 17 d'abril del 2013, just el dia en què Brussel·les va rebutjar, en primera instància, el *backloading*. El mercat esperava l'aprovació i, com que les expectatives no es van confirmar, els preus es van esfondrar a mínims des del 2008 i van arribar a 2,70 €/dret. Un cop el *backloading* es va haver aprovat, finalment, mesos més tard, els preus es van anar recuperant molt a poc a poc fins a estabilitzar-se entorn dels 6-6,5 €/dret. A partir d'aquí, el mercat requeria més estímuls i reformes estructurals per a continuar recuperant terreny fins a arribar als nivells de preus que la Comissió Europea considerava òptims. Aquest estímul ha estat la MSR. Malgrat que continuï existint un excedent de drets important que es va incrementant any rere any, la implementació d'una mesura estructural com aquesta ha fet que les expectatives de preus siguin alcistes per primer cop després de molts anys. El mercat ha deixat de funcionar prenent com a referències principals els elements tradicionals (com ara el petroli, l'electricitat, la producció, el carbó, etc.) i es decanta per seguir la tendència que marquen les deliberacions i les decisions polítiques, tant europees com globals. El preu més alt del període va ser de 8,65 €/dret i es va assolir el 24 de novembre del 2015.

Les previsions de preus són molt variables i fins a un cert punt poc fiables. En qualsevol cas, tot i la davallada inesperada per sota dels 5 €/dret experimentada a començament del 2016, la majoria dels analistes continuen atorgant un potencial alcista clar al mercat.

22.6.3.2. La situació actual dels mecanismes de desenvolupament net i d'implementació conjunta

El declivi del mercat de les anomenades *unitats de Kyoto*, la CER i l'ERU (unitat de reducció d'emissions), vinculades als projectes d'acció conjunta, s'ha mantingut durant tot el període. Fins a l'abril del 2015, les instal·lacions de l'EU ETS han utilitzat 1.450 milions de CER i ERU per a cobrir una part de les obligacions de compliment amb l'Administració. Això representa prop del 90 % dels 1.600 milions d'unitats que el règim europeu de comerç de drets d'emissió permet utilitzar a les instal·lacions industrials i als operadors aeronàutics per al compliment entre el 2008 i el 2020. D'altra

banda, aquest nombre representa prop del 60 % del total de crèdits de Kyoto emesos fins ara, cosa que significa que un 40 % de les unitats de Kyoto ja emeses no es podran utilitzar al principal mercat mundial de CO₂, l'europeu. S'espera que la demanda residual total de crèdits de Kyoto entre el 2015 i el 2020 sigui petita, mentre que l'oferta potencial per al mateix període és encara alta. També s'estima que l'oferta de crèdits de Kyoto fins al 2020 duplicarà àmpliament la demanda residual i, per tant, és fàcil deduir que la tendència del preu d'aquestes unitats sigui baixista. És probable que la manca de demanda en el futur comporti una reducció substancial de la inversió en projectes que generin aquests crèdits. La davallada de projectes implica la sortida de determinats agents del mercat, com ara els bancs, els inversors o els consultors, fet que empobreix la diversitat de participants i limita la potencialitat del mateix mercat. Per tal de donar suport als projectes de CDM, generadors de CER, i als d'implementació conjunta (JI), generadors d'ERU, les decisions polítiques recents s'han centrat a simplificar els procediments i les metodologies, promoure els CER i els ERU com a unitats vàlides per a cancel·lacions voluntàries (la petjada de carboni) i facilitar que un projecte inicialment enregistrat com a CDM o JI es pugui transformar en un projecte voluntari que generi unitats voluntàries (VER) que en molts casos poden tenir preus més elevats que els mateixos CER i ERU. En qualsevol cas, totes aquestes mesures són insuficients i només una determinació ferma, potser derivada dels acords adoptats a la COP de París, sobre la importància de promoure i incentivar els mercats voluntaris i l'ús d'aquestes unitats podria fer-ne créixer la demanda i canviar el destí d'aquests projectes, a més d'implicar més activament la ciutadania i les empreses no industrials en la lluita contra el canvi climàtic.

22.7. Conclusions

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic ha reconegut els governs subestats com uns actors governamentals de primer ordre en l'acció climàtica. Catalunya és una de les entitats subestats més activa en l'àmbit internacional i és membre fundadora de dues de les organitzacions d'entitats subestats d'àmbit mundial més importants, en les quals l'opinió de Catalunya és recorreguda i tinguda en molta consideració: la nrg4SD (2002) i el Climate Grup (2005).

A Copenhaguen es va perdre una gran oportunitat que alhora va servir per a aprendre una gran lliçó: la gestió de la lluita contra el canvi climàtic és realment complexa, amb molts interessos particulars i molts actors involucrats, i, per tant, cal aprofundir en la governança, millorar els processos de negociació i buscar un equilibri global entre les diferents parts interessades. Calen objectius concrets, duradors en el temps, adequats a les recomanacions científiques i, el més important, acceptables i aplicables per tots els estats que formen part de l'ONU. El sistema de governança mundial presenta moltes dificultats, però és l'únic que pot fer possible una actuació global. Els estats no poden fer aquesta tasca si no disposen de la col·laboració de tots els nivells de governança mundial, però també dels governs subestats, del món local i de la participació activa i compromesa del món científic, del món empresarial, de les organitzacions no governamentals i dels ciutadans.

Pel que fa als mercats de carboni, s'han mostrat com un mecanisme eficaç per a la fixació dels preus del CO₂ durant el darrer decenni, ja que contribueixen a la reducció de les emissions principalment als sectors industrials. Tot i això, cal un funcionament i sobretot un compromís més gran de les principals economies mundials que afavoreixin la creació d'un mercat d'emissions realment global. Des del punt de vista normatiu, calen estabilitat i eines per a flexibilitzar l'oferta en situacions de variació extrema i inesperada de la demanda per a aconseguir un cert equilibri que faciliti una formació de preus més eficient. Per tot plegat, la MSR i la COP de París són els dos factors cabdals que marcaran el futur dels mercats de CO₂.

Progressivament, nous sectors amb emissions de GEH avui incloses en les anomenades *emissions difuses* (com ara el transport marítim, el transport per carretera, l'agricultura, la ramaderia, etc.) s'aniran incorporant al sistema de control d'emissions i de fixació dels preus del CO₂. Així, doncs, els mercats d'emissions cada cop seran més transversals i integraran més sectors de l'economia, participants i liquiditat. A mitjà termini encara faltaria incrementar la implicació de la ciutadania i de les empreses no industrials en general, i el mercat voluntari és una iniciativa interessant que caldria potenciar.

Catalunya ha estat pionera en l'àmbit estatal en la lluita contra el canvi climàtic, tant en la participació en les COP com en la planificació estratègica (amb els plans de mitigació i d'adaptació), el desenvolupament de normatives (com ara la Llei del canvi climàtic), la millora del coneixement (els mateixos informes sobre el canvi climàtic en són un exemple) o la coresponsabilitat (com ara els acords voluntaris).

L'adaptació al canvi climàtic implica un canvi de paradigma en la governança local, ja que cal treballar partint de projeccions i escenaris climàtics i socioeconòmics incerts —sovint amb una manca d'informació a escales determinades—, incorporar la gestió del risc en la planificació i involucrar una multitud d'actors amb interessos diferents. Això comporta un canvi cultural de treball radical als governs locals i planteja reptes importants.

22.8. Recomanacions

A Catalunya, els eixos principals de les polítiques recomanades són els següents:

- 1) És completament necessari i convenient que Catalunya continuï elaborant una política de lluita contra el canvi climàtic en sintonia amb la política europea, la qual no solament té com a objectiu principal contribuir a la lluita contra el canvi climàtic a escala mundial, sinó que també, i molt principalment, és un instrument bàsic de millora de la competitivitat en un món globalitzat.
 - 2) Catalunya ha de continuar sent un referent mundial en temes de canvi climàtic, i tant les institucions públiques, científiques i empresarials com els ciutadans han de tenir un paper clau en aquests objectius estratègics.
 - 3) Caldria aplicar les polítiques de lluita contra el canvi climàtic a Catalunya en un marc normatiu de governança adequat a la importància dels reptes plantejats. Per això una llei catalana de canvi climàtic aprovada pel Parlament seria un instrument molt desitjable.
- 2) Mesures per a flexibilitzar els fluxos de liquiditat en situacions de variabilitat extrema de la demanda.
 - 3) La creació d'un mercat d'emissions realment global, en el qual les economies mundials principals tinguin un paper rellevant.
 - 4) La incorporació progressiva de nous sectors al sistema de control d'emissions i la fixació dels preus del CO₂.
 - 5) El foment de la participació ciutadana i de la reducció, el mesurament i la compensació de les emissions de les empreses no industrials. El desenvolupament dels mercats voluntaris, amb un gran potencial de creixement, ajudaria a conscienciar la societat, ja que permetria actuar directament en la petjada de carboni.

Pel que fa a l'adaptació al món local:

Amb relació als mercats de drets d'emissió, les mesures suggerides s'emmarquen en un context internacional i global, atès que accions estrictament catalanes no tindrien gaire sentit:

- 1) La necessitat d'estabilitat normativa a llarg termini.

- 1) Atès que la planificació de l'adaptació és a llarg termini i que els cicles de govern són de quatre anys, és essencial obtenir consens en la planificació de la lluita contra el canvi climàtic per mitjà de l'aprovació als plens municipals. Per això cal la implicació política al nivell més alt i, en aquest sentit, el Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses pel Clima i l'Energia és una bona eina.
- 2) Cal analitzar la vulnerabilitat al canvi climàtic des d'un punt de vista holístic, sistèmic i integratiu. Les possibles solucions d'adaptació s'han d'estudiar des d'un enfocament multinivell, multiescalar i multifuncional, ja que les solucions universals *one-size-fits-all* no acostumen a ser efectives en l'adaptació. Per això és imprescindible treballar amb equips transdisciplinaris, flexibles i dinàmics, realitzar anàlisis cost-benefici de les solucions proposades —incorporant els beneficis reals, per exemple, dels serveis ambientals de les solucions basades en la natura—, i codissenyar, codesenvolupar i coimplementar les mesures. Cal, també, valorar les contradiccions que es poden generar entre l'adaptació i la mitigació.
- 3) També és important trobar un equilibri entre un enfocament de dalt a baix (*top down*) i de baix a dalt (*bottom up*), i incorporar ja des de l'anàlisi mètodes d'innovació social que garanteixin la participació de la població més vulnerable per a garantir la justícia social. Els projectes de caràcter demostratiu poden ser una bona eina per a implicar la ciutadania.

- 4) La manca d'informació en alguns casos, tant dels possibles impactes derivats del canvi climàtic com de l'efectivitat de les mesures realitzades, també implica una cultura de treball de l'aprenentatge basat en la pràctica (*learning by doing*). Tanmateix, això no vol dir que no s'hagi de fer un seguiment, mesurar el que sigui rellevant per a anar aprenent en el procés i monitorar els avenços realitzats sempre que sigui possible. Cal enfortir, doncs, els serveis climàtics.
- 5) D'altra banda, la manca d'informació en l'efectivitat de les mesures implica que han de ser «bones» en si mateixes (*no-regret measures*: aporten més d'un benefici esperat i són igualment interessants sense considerar el canvi climàtic), flexibles, aplicables a diferents escales i multifuncionals. Amb vista a facilitar l'aparició de nous mercats també és interessant la possible reaplicabilitat.
- 6) Cal que la generació de coneixement sigui transferible, per mitjà de l'acostament dels científics als que prenen les decisions, l'elaboració d'estudis més operatius, la utilització d'un llenguatge més entenedor, la capacitat dels tècnics municipals i/o la incorporació de personal tècnic capaç de posar en contacte diferents interlocutors. Cal treballar en la línia de la cocreació de coneixement.
- 7) La planificació del procés de desenvolupament d'un pla d'adaptació és tan important com la mateixa redacció del pla, ja que sensibilitza i fa incrementar l'adquisició de coneixement nou. Cal, però, passar de la planificació a l'acció, la implementació, el mesurament i l'avaluació.

Referències bibliogràfiques

- AEMA = AGÈNCIA EUROPEA DE MEDI AMBIENT (2015). *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2015*. Copenhaguen: AEMA.COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES (2009). *Libro blanco: Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación* [en línia]. Brussel·les. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0147&from=EN>> [Consulta: 8 juny 2015].
- COMISSIÓ EUROPEA (2013). *Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE* [en línia]. Brus-sel·les. <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0216&from=EN>> [Consulta: 8 juny 2015].
- EEA = EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. EEA report núm. 2/2012, *Urban adaptation to climate change in Europe* [en línia]. <<http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>> [Consulta: 8 juny 2015].
- European Commission [en línia]. <www.ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm> [Consulta: 8 juny 2015].
- International Emissions Trading Association [en línia]. <www.ieta.org> [Consulta: 8 juny 2015].
- IEA = INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2014). *Key world energy statistics*. París: IEA.
- OCCC = OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC (2012). *Estratègia catalana d'adaptació al canvi climàtic (ESCACC)* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. <<http://canviclimatic.gencat.cat/web/content/home/actualitat/docs/escacc.pdf>> [Consulta: 8 juny 2015].
- OECC = OFICINA ESPANYOLA DE CANVI CLIMÀTIC (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático* [en línia]. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático. <http://www.magrama.gob.es/ca/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pna_v3_tcm7-12445_tcm8-197092.pdf> [Consulta: 8 juny 2015].
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic [en línia]. <<http://canviclimatic.gencat.cat>> [Consulta: 8 juny 2015].
- REVI, A.; SATTERTHWAIT, D.; ARAGÓN-DURAND, F. [et al.] (2014). «Towards transformative adaptation in cities: the IPCC's Fifth Assessment». *Environment and Urbanization*, 26, p. 11-28. També disponible en línia a: <<http://eau.sagepub.com/content/26/1/11.full.pdf+html>> [Consulta: 8 juny 2015].
- SENDECO2 [en línia]. <www.sendeco2.com> [Consulta: 8 juny 2015].
- The world bank [en línia]. <<http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange>> [Consulta: 8 juny 2015].

UNEP = UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2012). *Global Environment Outlook for local government: Solving global problems locally*. Nairobi: UNEP. També disponible en línia a: <<http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/unep-iclei-geo-5.pdf>> [Consulta: 8 juny 2015].

UNFCCC = *United Nations Framework Convention on Climate Change* [en línia]. <<http://newsroom.unfccc.int>> [Consulta: 8 juny 2015].

UNIÓ EUROPEA (2014). *Energy in figures statistical pocketbook*. Luxemburg: Publications Office of the European Union.

23 Percepció i comunicació del coneixement sobre el canvi climàtic a Catalunya

Autors

Joan David Tàbara

Joan David Tàbara és investigador associat a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) i membre del Grup de Recerca en Aigua, Territori i Sostenibilitat (GRATS) de la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualment treballa en el projecte IMPRESSIONS, dirigit per la Universitat d'Oxford, sobre polítiques i escenaris climàtics per sobre dels 2 °C, i en el projecte GREEN-WIN, coordinat pel Global Climate Forum, sobre solucions de guany mutu i empremta verda dirigida a la integració del desenvolupament sostenible a l'acció climàtica. Ha contribuït a

les obres col·lectives següents: *Making climate change work for us* (Hulme et al., 2010), *European research for sustainable development* (Jaeger et al., 2011), *Reframing the problem of climate change* (Jaeger et al., 2012), *The Routledge international handbook of social and environmental change* (Lockie et al., 2013) i *World social science report 2013* (ISSC, 2013). També és coautor d'articles científics com ara «Let's play transformations! Performative methods for sustainability» (Heras, 2014) i «Conservation theatre» (Heras, 2015).

Sumari

Síntesi	559
23.1. Introducció	560
23.2. Tendències recents en l'opinió i la comunicació públiques del canvi climàtic... 560	
23.2.1. El context global, europeu i espanyol	560
23.2.2. Seguiment de l'opinió pública sobre el canvi climàtic	563
23.3. Comunicació, ús i emmarcament del coneixement sobre el canvi climàtic: el cas del Cinquè informe d'avaluació de l'IPCC	566
23.3.1. El model de producció i de comunicació del coneixement sobre el canvi climàtic de l'IPCC	566
23.3.2. Anàlisi de la comunicació, l'ús i l'emmarcament de l'AR5 a Espanya i a Catalunya	568
23.4. Conclusions	573
23.5. Recomanacions	574
Referències bibliogràfiques	576

Síntesi

Aquest capítol examina alguns dels principals resultats recents en l'evolució de l'opinió pública, analitza els processos de comunicació i d'ús del coneixement en matèria de canvi climàtic i proposa algunes recomanacions per a la millora a Catalunya. D'una banda, el canvi climàtic continua sent una de les preocupacions principals dels ciutadans, malgrat haver-se moderat, en part, a partir del 2007, arran de la crisi econòmica i la disminució de la cobertura dels mitjans de comunicació. No obstant això, cada vegada són més presents marcs interpretatius nous, com ara els que entenen el canvi climàtic com una *amenança global*, però també els que l'entenen com una *oportunitat* per a la creació de llocs de treball, la millora de la qualitat de vida i el desenvolupament econòmic. El marc de l'oportunitat es mostra especialment present a l'opinió pública espanyola, la qual cosa hauria de facilitar la implementació de polítiques dirigides a potenciar l'economia baixa en carboni.

Atesa la importància d'entendre els processos de transmissió del coneixement científic sobre el canvi climàtic a la resta de la població, aquest treball també analitza la comunicació del *Cinquè informe d'avaluació (AR5)* del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) a Espanya i a Catalunya. Amb aquest objectiu, un qüestionari respost per vint agents rellevants i l'anàlisi de la cobertura a la premsa escrita durant la publicació d'aquest informe permeten observar els impactes i els missatges comunicats principals, així com les dificultats i els marcs interpretatius que podrien millorar la comunicació del canvi climàtic. En aquest sentit, es proposa la conveniència de marcs inter-

pretatius que emfatitzin aspectes com ara el benestar i la salut, les oportunitats de transformació i els missatges que podrien menar cap a l'acció personal, de manera que es defugui la producció de discursos sobre «males notícies» o del canvi climàtic com un problema “del medi ambient” —en lloc d'una qüestió social, econòmica i política. Se subratlla d'una manera especial la necessitat de mostrar no solament impactes i riscos possibles del canvi climàtic, sinó sobretot solucions i exemples concrets del que hom pot fer en la pràctica en els contextos d'acció.

Concretament, les recomanacions proposades i derivades de la consulta amb agents rellevants i de l'anàlisi de material secundari tenen a veure amb les dimensions següents: 1) millorar el seguiment de l'opinió pública a Catalunya; 2) aprofitar la forta presència del marc interpretatiu de l'oportunitat del canvi climàtic per a desenvolupar l'economia baixa en carboni; 3) millorar substancialment les capacitats i els processos de comunicació del canvi climàtic a Catalunya; 4) crear i donar suport a organitzacions delimitadores que marquen les fronteres entre la ciència, la política i la ciutadania, però que a la vegada en milloren les relacions i les interfícies (*boundary organisations*); 5) segmentar i «escollir primer» les diverses audiències i els agents socials rellevants i connectar-los en espais oberts de xarxes d'interacció, i 6) integrar, abraçar i no témer la complexitat socioambiental a fi d'evitar caure en el reduccionisme.

Paraules clau

interaccions socials, comunicació i coneixement del canvi climàtic, AR5, IPCC, opinió pública

23.1. Introducció

La reformulació i la creació d'un nou compromís social amb el debat sobre el clima és una qüestió complexa que no es pot reduir a la comunicació unidireccional de més evidències científiques sobre els possibles riscos o els impactes de l'escalfament global del planeta en la nostra societat. Més aviat ara el repte consisteix a entendre la comunicació climàtica sobre la mitigació i l'adaptació al clima com un procés d'aprenentatge social multidimensional i dinàmic orientat a la transformació social. És a dir, no solament com una qüestió de reduir emissions o crear infraestructures més resilients, sinó com un repte institucional molt més ampli que implica la modificació profunda dels patrons d'interacció socioambientals actuals, un procés en el qual els sistemes d'interacció entre la ciència, la política i la societat en general prenen un paper decisiu.

Un dels desafiaments principals a l'hora de comunicar i «socialitzar» el canvi climàtic a la vida quotidiana dels ciutadans consisteix a anar més enllà del discurs sobre els possibles riscos, vulnerabilitats i impactes a la nostra societat. En realitat, cal crear nous procediments i xarxes d'acció que, d'una manera col·laborativa, permetin desenvolupar coneixements sòlids sobre la implementació de *solucions sistèmiques* i viables, que a la vegada ajudin a promoure vies alternatives per al desenvolupament sostenible davant l'amenaça global del canvi climàtic. En aquest sentit, el suport i la creació de comunitats d'aprenentatge (*communities of learning*) per a capacitar els agents que operen a les interfícies entre la ciència, la política i la ciutadania és fonamental. L'enfocament tradicional que tendeix a veure aquests tres àmbits d'acció com a àmbits aïllats dificulta la transformació social necessària en un moment de «crisi de crisis» globals com el que implica el canvi climàtic. Si bé ja es comença a prendre consciència de la importància de donar suport a agents i a organitzacions que treballen en aquestes interfícies —i que no són ni experts, ni polítics, ni agents d'entitats cíviques, però que són capaços de connectar amb tothom—, encara som força lluny del seu reconeixement ple. Si aquest procés de consolidació de nous actors climàtics s'arriba a dur a terme, podria comportar una integració i una complexitat més grans del teixit institucional per al desenvolupament de solucions sistèmiques i serveis ne-

cessaris en diferents contextos i escales d'acció a Catalunya.

Aquest capítol explora algunes de les tendències recents en l'evolució de l'opinió pública, els processos de comunicació i l'ús del coneixement en matèria de canvi climàtic tant a Catalunya com a la resta d'Espanya. En primer lloc, l'apartat 23.2 fa un breu repàs dels principals resultats recents sobre la percepció del canvi climàtic en el cas d'Espanya i de Catalunya. Les dades, proporcionades per fonts com ara l'Eurobaròmetre, permeten millorar la reflexió social en aquest camp i albirar algunes de les oportunitats i les dificultats d'aplicar polítiques baixes en carboni a casa nostra. Tot seguit, l'apartat 23.3 mostra els resultats obtinguts per mitjà d'un qüestionari respost per vint agents rellevants sobre la comunicació del darrer informe de l'IPCC (AR5) i examina la cobertura de la premsa escrita durant la publicació d'aquest informe. Finalment, aquest capítol es conclou amb unes conclusions i unes recomanacions dirigides a millorar les estratègies de seguiment de l'opinió pública, la comunicació i la implicació cívica en el canvi climàtic a Catalunya.

23.2. Tendències recents en l'opinió i la comunicació públiques del canvi climàtic

23.2.1. El context global, europeu i espanyol

Segons alguns autors, el context global de la crisi econòmica dels darrers anys ha estat un dels fenòmens que han marcat més l'evolució recent de la preocupació pública pel canvi climàtic. Així, per exemple, Scruggs *et al.* (2012) demostraren que als Estats Units d'Amèrica (EUA), i en part també a la Unió Europea (UE), la preocupació pel canvi climàtic va començar a declinar en el període 2008-2010, sobretot a causa del sentiment d'inseguretat econòmica derivat de la crisi. No obstant això, el cas és que la percepció del canvi climàtic és un fenomen multidimensional que depèn de moltes condicions contextuais. També hi estan molt relacionats altres factors, com ara la ideologia política, la cobertura dels mitjans de comunicació, la percepció d'acord científic o l'experiència personal d'anomalies climàtiques, que sovint no es poden destriar i que també hi tenen molta incidència. En realitat, no solament s'ha produït un augment o una disminució de la pre-

ocupació pel canvi climàtic, sinó sobretot una redefinició i un reemmarcament (*reframing*) de la manera com els diferents col·lectius entenen aquesta inquietud, tant pel que fa a les causes com pel que fa a les possibles respostes i solucions. En aquest sentit, alguns estudis assenyalen que la gent relaciona les inundacions, encertadament o no, amb el canvi climàtic i que els afectats mostren més consciència sobre aquest procés de canvi global (Capstick *et al.*, 2015); encara que quan intentem entendre la incidència d'aquests fenòmens extrems en l'acció social, les coses són més complexes. Per això les darreres recerques (McCright *et al.*, 2014) apunten que, si bé l'experiència personal d'anomalies climàtiques té un efecte molt limitat en la percepció del canvi climàtic, pot contribuir a donar suport a les mesures d'adaptació, però no necessàriament a les mesures de mitigació. I, com comenten Marquart-Pyatt *et al.* (2014), precisament el grau elevat de polarització i politització del discurs climàtic, en cas dels EUA, és el factor que hi podria tenir un efecte més gran. Segons aquests autors, aquesta polarització creixent de l'orientació política pot arribar a crear una situació que impedeixi veure les condicions climàtiques en què realment ens trobem i, per tant, tampoc no ajuda a mobilitzar el suport públic necessari per a la formulació de polítiques eficaces.

D'altra banda, els darrers anys hi ha hagut un increment de la presència de l'emmarcament del canvi climàtic com a *amença global*, tal com demostra el treball del Pew Institute Centre (2015), basat en un total de 45.435 enquestats de quaranta països

i elaborat durant la primavera del 2015. En particular, els resultats (en medianes percentuals, els valors que separen la meitat de la mostra) indiquen que la preocupació pel canvi climàtic i l'expansió de l'Estat Islàmic són les dues amenaces principals d'àmbit global, si bé existeixen diferències notables entre regions. Així, aquesta percepció és més destacada en les respostes provinents d'Àfrica i de l'Amèrica Llatina i ho és menys en les que provenen de l'Orient Mitjà i de l'Àsia del Pacífic, mentre que els EUA i Europa es troben en una situació intermèdia (taula 23.1; per a altres revisions amb anàlisis d'àmbit global vegeu Shwom *et al.*, 2015; Tàbara *et al.*, 2012).

Tanmateix, la cobertura dels mitjans de comunicació del canvi climàtic a escala global també ha mantingut una tendència ascendent, tot i que cíclica, especialment fins al 2007, l'any de la presentació del *Quart informe d'avaluació* de l'IPCC. A partir de llavors va començar a disminuir notablement, tot i que es va recuperar en part a partir del 2009, l'any de la 15a Conferència de les Parts, a Copenhaguen, i després de nou a partir del 2014, encara que sense tornar a assolir els nivells del 2007. D'altra banda, les diferències entre regions també han estat destacables i podem veure que regions com ara Oceania mostren nivells de cobertura molt més elevats que altres països (figura 23.1).

Aquest patró cíclic (ja identificat al clàssic article de Downs, 1972, i a Hansen, 2015), no solament és bastant freqüent en la comunicació d'altres qüestions

TAULA 23.1. Percepció de les amenaces principals globals per regions

	Global	EUA	Europa	Orient Mitjà	Àsia/Pacífic	Amèrica Llatina	Àfrica
Canvi climàtic global	46	42	42	35	41	61	59
Inestabilitat econòmica global	42	51	40	33	35	54	50
Grup militant de l'Estat Islàmic	41	68	70	54	45	33	38
Programa nuclear de l'Iran	31	62	42	29	29	33	29
Ciberatacs a agències del govern, bancs o corporacions	30	59	35	22	35	33	30
Tensions entre Rússia i els països veïns	24	43	41	18	22	22	20
Tensions territorials entre la Xina i els països veïns	18	30	17	14	31	21	22

Font: Pew Research Centre, 2015.

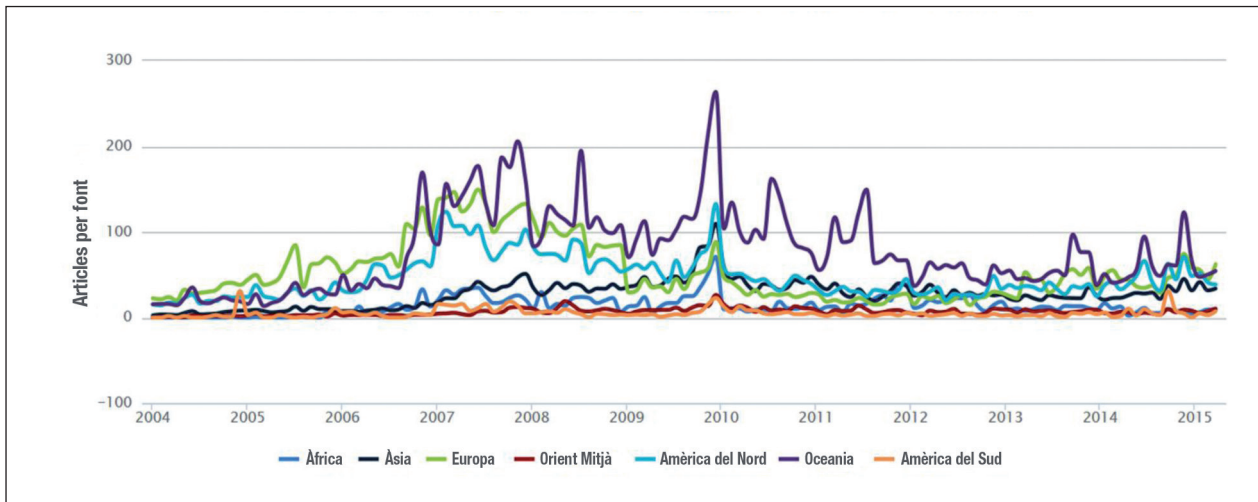


FIGURA 23.1. Cobertura del canvi climàtic i de l'escalfament global de cinquanta diaris de vint-i-cinc països i sis continents (2004 - març 2015).

Font: Gifford *et al.*, 2016.

ons d'interès públic, especialment en el cas de temes ambientals, sinó que la tendència descendent que presenta podria demostrar el que es coneix com a *fatiga climàtica* en la presència d'aquest problema global als mitjans de comunicació. És un patró, d'altra banda, que també s'ha reproduït d'una manera molt similar en el cas espanyol (Fernández-Reyes *et al.*, 2015).

Pel que fa a l'Estat espanyol, segons l'informe de l'Eurobaròmetre sobre les actituds envers el canvi climàtic (EC, 2014a), quan el 2013 es va preguntar a la població «Com de seriós creu que és el canvi climàtic ara mateix?», d'una escala de l'1 al 10, en què 1 significava «gens ni mica» i 10, «molt greu», la mitjana va ser de 7,9, amb només una petita reducció de 0,1 punts amb relació als resultats obtinguts l'any 2011. Cal destacar que Espanya va assolir una de les puntuacions més altes de totes les dels estats membres de la UE-28, ja que va quedar en tercera posició, després d'Itàlia i de Grècia, i amb els mateixos resultats que Àustria i Eslovàquia. Aquestes dades, però, contrastaven amb l'opinió dels espanyols quan se'ls preguntava «Quin és el problema més greu a què fa cara el món globalment?», ja que en aquest cas només el 8 % van anomenar el canvi climàtic, cosa que va comportar el resultat més baix de la UE-28 si exceptuem el de Portugal. Això va implicar una caiguda de setze punts en comparació dels resultats del 2011, mentre que la «situació econòmica»

obtingué una de les qualificacions més altes de la UE-28, juntament amb Xipre i Grècia.

Com s'ha apuntat més amunt, la manera d'entendre tant les causes com les respostes possibles al canvi climàtic és cada vegada més complexa i plural, i no es pot reduir només al factor econòmic o a la resposta senzilla d'estar «molt» o «poc» preocupat, ja que això a la pràctica significa poca cosa. Van apareixent nous marcs interpretatius i en alguns casos uns se sobreposen als altres. Concretament, i de la mateixa manera que el marc de l'amenaça és cada vegada més present, també ho és el marc que entén el canvi climàtic com una oportunitat per al desenvolupament i el negoci. Segons els resultats de l'Eurobaròmetre, el marc de l'oportunitat és particularment fort a l'Estat espanyol amb relació a la creació d'ocupació econòmica, ja que Espanya va ser el país de la UE-28:

- Amb la puntuació més alta en l'afirmació que «la lluita contra el canvi climàtic i l'ús més eficient de l'energia pot impulsar l'economia i l'ocupació de la UE», amb el 52 % de les respostes «totalment d'acord» (un percentatge que fins i tot supera el de Suècia, del 50 %; EC, 2014a).
- Amb la puntuació més alta (amb un 45 % de respostes «totalment d'acord») en l'afirmació que la reducció de les importacions de combustibles fòssils podria beneficiar la UE econòmicament (EC, 2014a).

- Amb el tercer lloc en l'afirmació (amb el 95 % de respostes afirmatives) de la importància que els governs nacionals donin suport a la millora de l'eficiència energètica, i amb les mateixes puntuacions que països com ara els Països Baixos i Dinamarca, només després de Malta i Xipre (EC, 2014a).
- Amb l'augment més gran a la UE-28 entre el 2011 i el 2014 del nombre de persones que creuen que s'hauria de donar la mateixa importància als factors ambientals i socials que als econòmics a l'hora de mesurar el progrés (amb un 15 % d'augment i el 61 % de la gent a favor; EC, 2014b).

No obstant això, l'any 2014 Espanya també va ser el segon país del conjunt de la UE-28 on la majoria de les persones (el 86 %, només superat per Grècia i a la mateixa posició que Croàcia) creia que el Govern no feia prou esforços per a protegir el medi ambient. Aquesta percepció encara es va veure agreujada en sis punts en comparació del 2011 (EC, 2014b). Potser per això Espanya és un dels principals països de la UE-28 (el 77 %) on la majoria de la gent creu que les decisions ambientals no s'han de prendre únicament en l'àmbit nacional, sinó conjuntament amb la UE (EC, 2014b).

A més, l'informe de l'Eurobaròmetre sobre les actituds generals pel que fa al medi ambient (EC, 2014b) va permetre observar algunes opinions públiques sobre els mitjans de comunicació. Concretament, Espanya és un dels quatre països de la UE-28 on la gent confia menys en la informació ambiental que obté per mitjà de la televisió (amb només un 25 % de persones que hi confien). Aquesta opinió és similar als resultats obtinguts per mitjà d'un estudi realitzat per l'empresa consultora Factor CO2 (2014) sobre la gestió del canvi climàtic a Espanya, en què la majoria de persones va expressar que la informació proporcionada pels mitjans de comunicació a Espanya no era suficient (el 58 %) o que era molt dolenta (el 15,9 %).

Els darrers anys hi ha hagut un bon nombre d'estudis d'opinió pública en temes concrets de canvi climàtic a Espanya, com ara els proporcionats per Pablo Ángel Meira i els seus col·legues. Així, en un d'aquests treballs (Meira Cartea *et al.*, 2013) mostraven que el 2012 dues terceres parts de la població espanyola

creien que el canvi climàtic els afectaria la salut (el 25 %, d'una manera molt probable, i el 40,7 %, d'una manera més aviat probable; N = 1.300). I en aquesta mateixa línia, l'opinió pública a Espanya pensava que seria molt probable (el 29,8 %) o més aviat probable (el 42,5 %) que el canvi climàtic provoqués un augment de les malalties a Espanya en els propers vint anys. En particular, les malalties que s'incrementarien a causa del canvi climàtic més mencionades eren les al·lèrgies, els problemes respiratoris, l'excés de calor o fred i les malalties infeccioses o relacionades amb els aliments.

Pel que fa a la informació, el mateix estudi va mostrar que dos terços dels habitants d'Espanya se senten molt poc informats (el 53,3 %) o gens informats (el 12,5 %) sobre el canvi climàtic en general. No obstant això, la població espanyola es va sentir una mica menys informada el 2012 que no pas el 2010, amb un terç de la població que afirmava que se sentia molt informada (el 2,9 %) o més ben informada (el 30,6 %) sobre el canvi climàtic. Les fonts més fiables d'informació sobre el canvi climàtic eren les proporcionades pels grups ecologistes i pels científics, mentre que les menys fiables eren les de les administracions públiques, els sindicats i, en darrer lloc, els empresaris. Aquests autors també van concloure una caracterització de quatre perfils principals de la població espanyola amb relació al canvi climàtic segons la qual el 35 % de la població espanyola es podria classificar com a «preocupada» pel canvi climàtic, el 30,8 %, com a «alarmada», el 22,6 %, com a «prudent», i només el 11,6 %, com a «desconnectada» d'aquest debat. En aquest sentit, els autors observen una certa correlació positiva entre els segments de la població que se senten més informats sobre el canvi climàtic i els que creuen que el canvi climàtic ja s'està produint en realitat.

23.2.2. Seguiment de l'opinió pública sobre el canvi climàtic

Des de l'any 2010, el Departament de Territori i Sostenibilitat encarrega un seguiment semestral d'alguns aspectes relacionats amb l'opinió pública del canvi climàtic (CERES, 2014; per a altres dades i seguiments vegeu Tàbara 2005; 2010). Concretament, tal com mostra la figura 23.2, el canvi climàtic es considera el tercer problema ambiental que suscita una preocupació més gran, seguit de

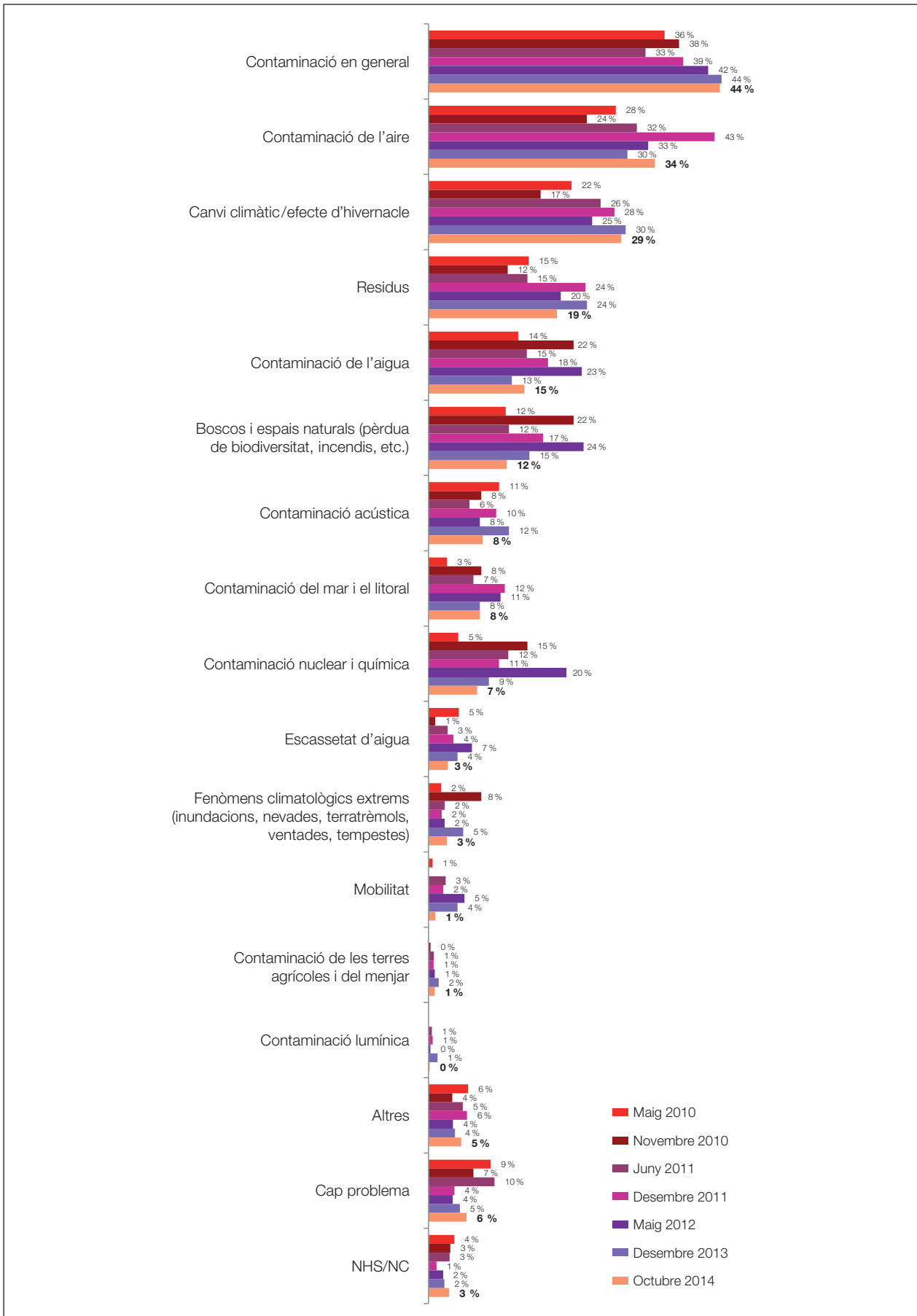


FIGURA 23.2. Respostes a la pregunta «Quins són els tres problemes ambientals que us preocupen més?».

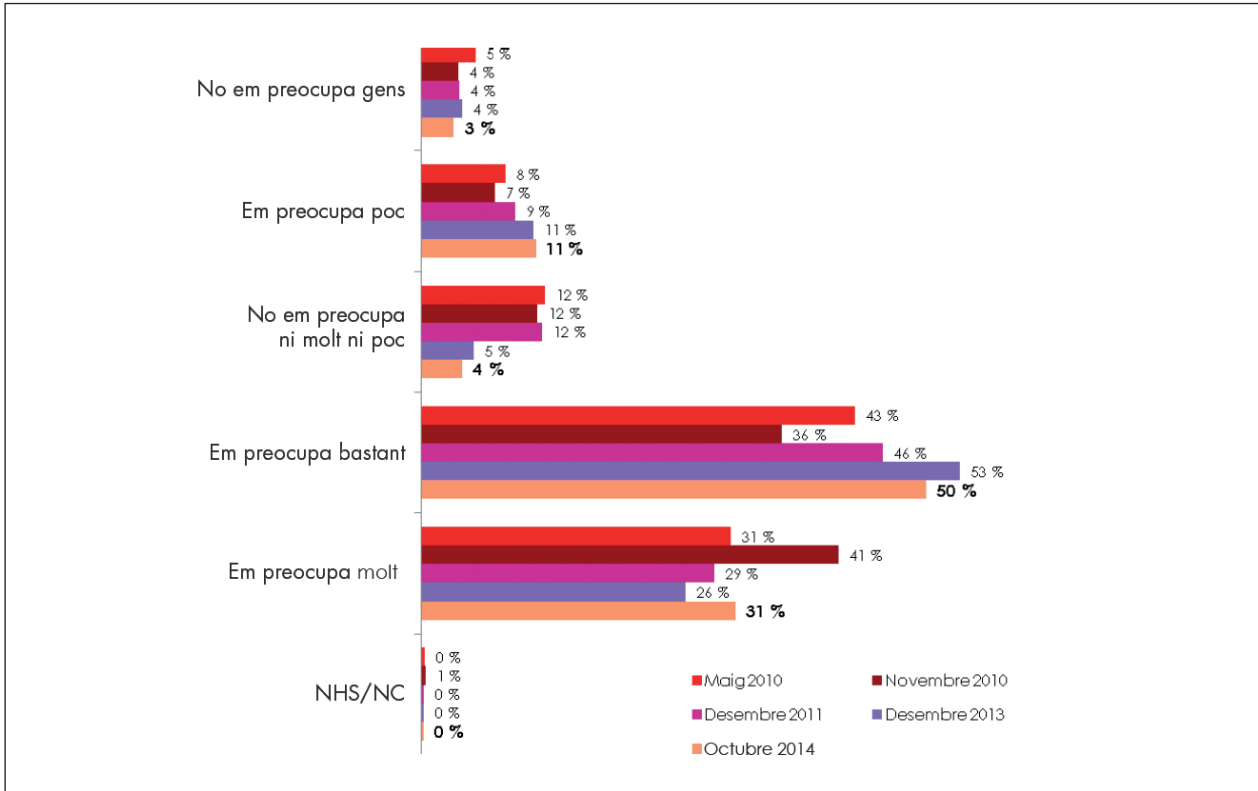


FIGURA 23.3. Respostes a la pregunta «Com us posicioneu davant del canvi climàtic?». En una escala de l'1 al 5, en què 1 seria «No em preocupa gens» i 5, «Em preocupa molt».

la «contaminació en general» i la «contaminació de l'aire», i abans dels residus. El problema d'aquestes categories, però, és que no són exclusives ni completes, i hi ha moltes superposicions entre les unes i les altres, cosa que en dificulta una interpretació acurada.

En aquest sentit, el mateix estudi permet veure l'evolució de la preocupació pública del canvi climàtic en els darrers anys a Catalunya, ja que mostra que el 2014 més de tres quartes parts de la població consultada es considerava bastant (el 50 %) o molt (el 31 %) preocupada pel canvi climàtic. Aquests valors s'han mantingut estables des del 2010, amb un increment del 5 % de les persones que es consideraven molt preocupades però amb una disminució del 3 % de les que es consideraven bastant preocupades el 2013 (figura 23.3). El perfil de les persones menys preocupades tendeix a ser homes, persones que es dediquen a les tasques de la llar o persones que no es connecten mai a Internet.

Finalment, el tercer conjunt de preguntes fan referència a les accions personals amb relació al

canvi climàtic. La figura 23.4 mostra que els percentatges de les persones que diuen que prenen mesures i els de les que diuen que no en prenen cap també s'han mantingut molt estables des del 2010. Concretament, han assolit un punt màxim el desembre del 2011 i han disminuït a partir de llavors, però amb percentatges molt similars als de les persones que es mostren bastant o molt preocupades pel canvi climàtic.

D'altra banda, la figura 23.5 indica algunes accions concretes que es porten a terme a Catalunya segons aquest seguiment, i les més adoptades amb relació al canvi climàtic són el reciclatge, l'estalvi d'energia i la utilització del transport públic.

Malauradament, però, aquesta taula no permet discriminar entre les mesures de mitigació i les mesures d'adaptació, ja que totes es basen en les primeres. D'altra banda, es formulen com a mesures per a *reduir* el canvi climàtic, en lloc de mesures per a mitigar-lo, no agreujar-lo o adaptar-se a aquest procés de canvi global. Així mateix, el plantejament de la pregunta fa difícil discriminar

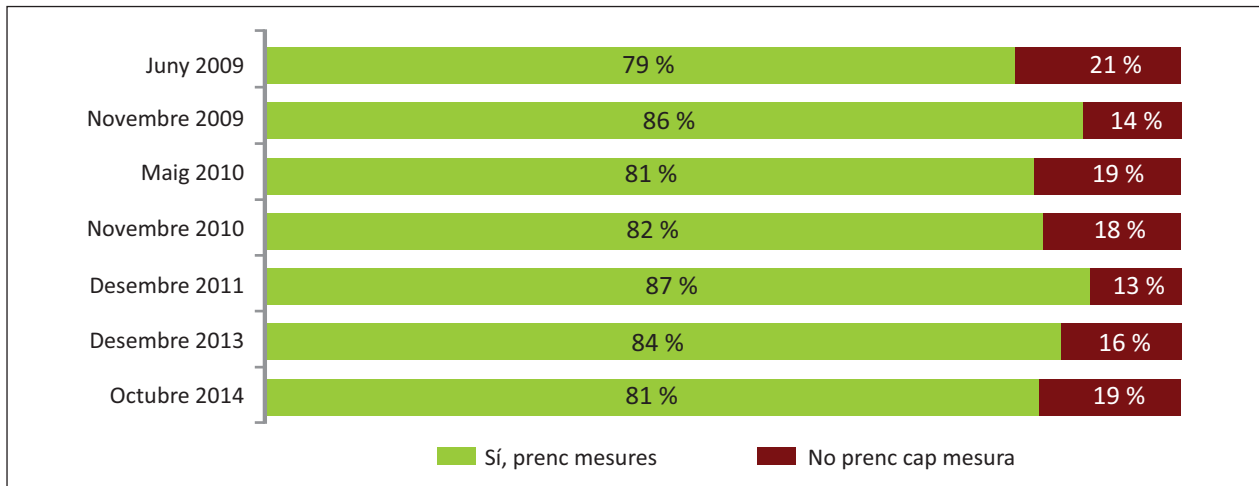


FIGURA 23.4. Respostes a la pregunta «Adopteu mesures per a reduir el canvi climàtic?».

entre les mesures preses per motius ambientals en general i les preses específicament per qüestions climàtiques. Finalment, tampoc no s'hi inclouen mesures relacionades amb la participació cívica o política i, per tant, amb l'acció col·lectiva, com ara la participació o el suport a entitats ecologistes o a partits polítics que promouen les energies renovables o la descarbonització de l'economia.

23.3. Comunicació, ús i emmarcament del coneixement sobre el canvi climàtic: el cas del Cinquè informe d'avaluació de l'IPCC

23.3.1. El model de producció i de comunicació del coneixement sobre el canvi climàtic de l'IPCC

Un dels aspectes més fonamentals en el camp d'estudi interdisciplinari de la comunicació pública del canvi climàtic consisteix en l'anàlisi dels processos de generació de coneixement científic i la transmissió d'aquest coneixement als agents decisors i a la resta de la societat. Basant-se en l'anàlisi de vint processos de producció i utilització d'avaluacions ambientals globals, Weichselgartner *et al.* (2010) demostraren que, d'una banda, els polítics tendeixen a usar d'una manera insuficient el coneixement científic disponible sobre el canvi ambiental global, mentre que, de l'altra, els investigadors solen produir un coneixement que no és directament utilitzable pels responsables polítics. Aquest desajustament és condicionat per una sèrie de factors funcionals, estructurals i socials que

impedeixen la identificació conjunta de problemes i la formulació adequada de coneixements entre els productors i els usuaris potencials d'una manera favorable per a l'acció.

A l'hora d'abastar la realitat social, sobretot els processos complexos de la comunicació i el coneixement, pot ser útil disposar de *tipus ideals*, és a dir, d'instruments heurístics que d'una manera abstracta sintetitzen les característiques principals d'un objecte o un fenomen social determinat perquè pugui ser analitzat i comunicat. Els tipus ideals, tal com diu la mateixa paraula, no són *reals*, sinó que són representacions ideals que en el nostre cas poden esdevenir molt útils per a entendre i intervenir en qüestions de sostenibilitat (Tàbara *et al.*, 2013). En particular, i pel que fa al procés de producció i de comunicació del coneixement climàtic de l'IPCC, sovint s'han caracteritzat pel *model lineal d'expertesa* (Beck, 2012). És a dir, un model d'interacció social en el qual els experts són vistos com els titulars gairebé exclusius de la tasca de generar coneixement reconegut legítimament i, per tant, com els responsables principals de reunir les diverses fonts de veritat i lliurar aquests coneixements als responsables polítics que llavors, suposadament, prendran les decisions pertinents. Aquesta idea de «comunicar la veritat al poder» també es basa en el supòsit que el coneixement sobre qüestions tan complexes com ara el canvi climàtic o la sostenibilitat consisteix a «omplir buits de coneixement» (*filling knowledge gaps*), com si això de millorar el coneixement de la sostenibilitat comportés anar omplint

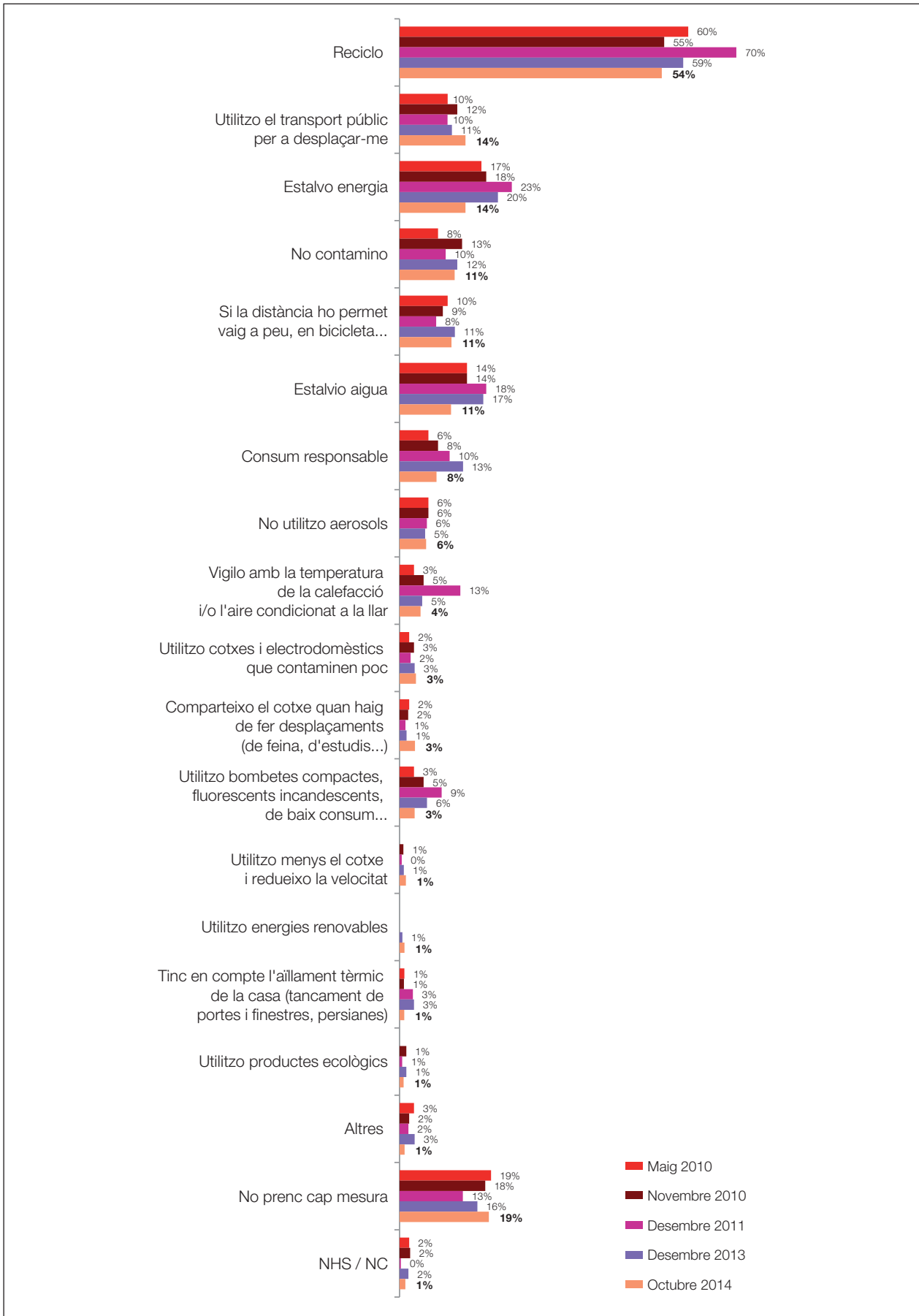


FIGURA 23.5. Respostes a la pregunta «Podríeu dir quines mesures adopteu per reduir el canvi climàtic?».

un recipient imaginari i tancat de sabers fins que finalment fos ple. Certament, es tracta d'una visió que no té en compte la complexitat dels processos de coproducció de *coneixement situat*, que intervenen en la resolució de problemes de sostenibilitat i que necessàriament s'han d'emmarcar en uns contextos cada vegada més oberts, més plurals i més col·laboratius, com ara els que caracteritzen els processos de transformació social en aquests camps tan complexos (Tàbara, 2013; Tàbara *et al.*, 2013; Cornell *et al.*, 2013).

Actualment, aquest model mental de generació i de transmissió del coneixement és qüestionat i sobretot reemplaçat per altres perspectives conceptuals més matisades. Avui se cerca considerar un nombre molt més gran d'interaccions i perspectives dins dels diferents espais que ocupen les interfícies entre la ciència, la política i la societat en general. En la pràctica, és necessari considerar la presència d'agents —no solament d'audiències passives de coneixement, sinó també de diferents productors de coneixement— que ara tenen un caràcter molt més heterogeni i actiu, i que parteixen de rerefons culturals i normatius molt diversos. Les interaccions entre els avaluadors, els comunicadors i els actors del canvi climàtic són sempre el resultat de relacions socials extremament complexes —i a la vegada poc compreses—, que segueixen dinàmiques multidireccionals basades en interessos diversos i que operen amb moltes escales i amb referències espacials i temporals diferents. Davant d'aquesta complexitat, el model d'interacció entre els agents que participen en la producció, la comunicació i l'ús del coneixement sobre el canvi climàtic i que ha caracteritzat els pressupòsits del paper de l'IPCC ha mostrat limitacions importants, ja que ha impedit que les conclusions i els treballs hagin pogut tenir la influència política que s'esperava en un principi (figura 23.6). Així, les veus més crítiques amb l'Acord de París a la COP21, com ara el científic de la NASA James Hansen, que qualifica l'acord de frau (Milman, 2015), subratllen que no s'hi han incorporat les demandes dels científics, ja que no hi ha objectius o fites (*targets*) de compliment obligat en la reducció de les emissions. De fet, és un acord en el qual tots els països van acordar de fer el que volien (els anomenats *intended nationally determined contributions*, INDC) i, per tant, era gairebé impossible no estar-hi d'acord. A més, la suma d'aquests

compromisos voluntaris comporta un escalfament per sobre dels 2 °C i realment no hi ha mecanismes d'obligat compliment, llevat de la revisió i el monitoratge periòdics per a impedir que no se superi aquest llindar, mentre que es continuen posposant altres accions més efectives. De fet, fins i tot n'hi ha que diuen que ja s'han perdut dos decennis i que tornem a ser al mateix punt que quan es va signar el Protocol de Kyoto amb l'única diferència que ara almenys tots els països estan d'acord a fer-hi quelcom —encara que certament molt lluny del que és necessari tenint en compte que el 2016 ja es va arribar a una anomalia climàtica d'un 1,3 °C d'increment global de temperatura.

Per aquest motiu, segons Mitchell *et al.* (2006) els efectes que els informes d'experts poden arribar a tenir en temes de canvi climàtic depenen de tot un conjunt de factors molt diversos; concretament, aquesta *influència*: 1) varia molt segons els diferents contextos i els tipus d'avaluacions que es porten a terme; 2) és sempre relacional i depèn dels tipus de col·lectius potencials que hom intenta influir; 3) depèn de la percepció d'aquests informes com a rellevants per a les decisions dels destinataris, a més de creïbles i legítims; 4) serà més gran si la societat considera que ha pogut prendre part en el procés de generació de coneixement, i 5) serà més gran si s'entén que contribueix al desenvolupament de capacitats entre els productors i els usuaris d'aquestes avaluacions. Tal com van expressar Jäger *et al.* (2006), «una avaluació no solament és un informe [...], sinó que consisteix en tot el procés social per mitjà del qual s'organitza, s'avalua, s'integra i es presenta el coneixement expert per tal d'informar la presa de decisions». Per això aquests autors posen l'èmfasi en la necessitat de: 1) concentrar-se en el *procés* i no solament en la producció de l'informe; 2) tenir en compte sobretot aspectes com ara la rellevància, la legitimitat i la credibilitat; 3) considerar diferents audiències; 4) implicar les parts interessades i connectar-les amb les xarxes d'actors existents, i 5) desenvolupar una capacitat d'influència al llarg del temps.

23.3.2. Anàlisi de la comunicació, l'ús i l'emmarcament de l'AR5 a Espanya i a Catalunya

Aquest apartat mostra alguns resultats de l'anàlisi de la comunicació, l'ús i els diferents tipus de marcs

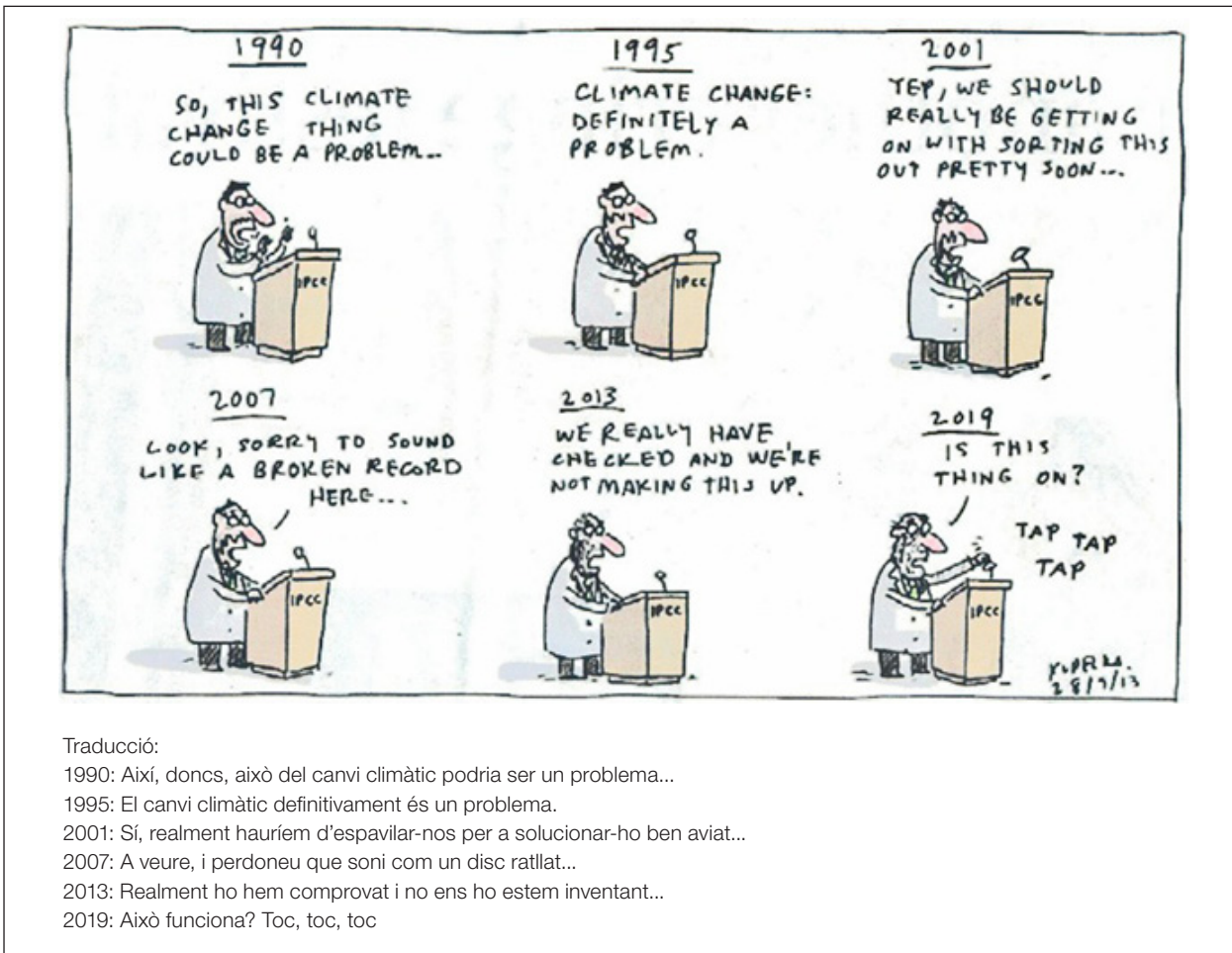


FIGURA 23.6. El model de comunicació del coneixement científic generat per l'IPCC no acaba de funcionar...

Font: Extreta de la presentació de Koko Warner, «Multiple resilience pathways: Climate resilient pathways to sustainable development», al Grup de Treball II de l'AR5 de l'IPCC, el 19 de maig del 2014.

interpretatius emprats en la comunicació del coneixement climàtic a Espanya i a Catalunya i se centra en el cas de l'AR5. Els resultats que es mostren formen part d'un estudi de més abast anomenat AR5 In Europe, dirigit per la professora Asun Lera St. Clair i realitzat a diversos països europeus.

Per a aquest estudi, la població de referència es va compondre principalment de quatre tipus de persones:

- 1) Responsables polítics i persones que treballen a l'Administració pública, com ara a l'Oficina Espanyola del Canvi Climàtic o a l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic.
- 2) Científics que treballen a Espanya i a Catalunya i que van contribuir a l'AR5.
- 3) Periodistes, comunicadors i altres persones implicades en la divulgació de les qüestions del canvi climàtic a Espanya i a Catalunya.

- 4) Representants de grups cívics i organitzacions no governamentals ambientals actives en la comunicació del canvi climàtic a Espanya i a Catalunya.

En total, el 2014 es van identificar quaranta persones i s'hi va establir contacte, vint de les quals van respondre a un qüestionari distribuïdes de la manera següent:

- Autors i/o revisors de l'AR5: 8
- Membres de l'Administració pública: 3
- Organitzacions no governamentals mediamambientals: 2
- Periodistes i comunicadors: 4
- Experts d'instituts de meteorologia: 2
- Responsables de la política espanyola del Ministeri de Salut: 1
- Origen de les respostes: 10 d'Espanya i 10 de Catalunya; 8 dones i 12 homes.

En aquest qüestionari es van explorar les dimensions següents: I) els usuaris principals de l'AR5 a Espanya; II) la participació dels agents espanyols en la generació i la comunicació del coneixement climàtic; III) els missatges comunicats principals; IV) les dificultats i els marcs interpretatius principals a l'hora de comunicar-los, i V) la percepció de la rellevància, la credibilitat i la legitimitat de l'AR5 a Espanya. A més, es van elaborar recomanacions per a millorar-ne la comunicació i l'impacte.

Paral·lelament al qüestionari, també es van analitzar cinquanta-tres notícies i reculls d'opinió aplegats tant a Espanya com a Catalunya durant la publicació dels informes dels grups de treball I, II i III i de la síntesi de l'AR5, concretament a l'*Ara*, *El Mundo*, *El País*, *El Periódico*, *La Razón* i *La Vanguardia*. Cal assenyalar, però, que tot i que el diari *ABC* té un tiratge més gran que *La Razón* (amb una circulació neta de 128.660 diaris del primer davant dels 81.449 del segon el 2014), es va escollir *La Razón* per aconseguir un ventall de visions més ampli —i fins i tot més extrem— de les diferents reaccions sobre la comunicació de l'AR5. Aquesta anàlisi va mostrar que la cobertura periodística d'aquests esdeveniments a Espanya no presentava gaires variacions respecte als tres informes, tot i que ben poques vegades l'AR5 va captar l'atenció de més d'una o dues pàgines de notícies o reculls d'opinió en diaris de 47 a 88 pàgines. A més, aquesta comunicació poques vegades s'allargava més de dos dies. Els diaris d'esquerres tendien a proporcionar més cobertura que els de dretes, mentre que els diaris principalment d'àmbit català en proporcionaven més que els de la resta d'Espanya. Els impactes i les tendències més mencionades, així com les imatges més utilitzades, feien referència als incendis, a les sequeres, als efectes en l'agricultura, la salut, la biodiversitat i la costa i a la prevalença dels «estius més calents». També es van esmentar sovint els conflictes i la migració (èxode). La major part de les notícies i especialment els líders d'opinió van expressar la urgència de la necessitat i la responsabilitat de reduir les emissions a fi de mantenir l'escalfament global per sota del líndar dels 2 °C. A més, alguns diaris van tractar algunes qüestions més complexes, com ara el paper de la incertesa i la confiança científica, la possibilitat de punts irreversibles de

no retorn (*tipping points*) i els efectes retroactius i amplificadors del canvi climàtic (*climate feedbacks*).

Els resultats del qüestionari es van estructurar d'acord amb els vuit eixos principals següents (els relatius a les recomanacions seran tractats en l'apartat 23.6):

- 1) Els agents i les activitats de difusió de l'AR5 a Espanya i a Catalunya. D'acord amb els nostres resultats, hi va haver una quantitat notable d'activitats de difusió de l'AR5 a Espanya i a Catalunya. Aquestes activitats consistien, principalment, en conferències públiques i contribucions a diaris, documentals i ràdios, i van ser organitzades pel Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient i pel Departament de Territori i Sostenibilitat. No obstant això, la major part d'aquestes accions de difusió es van dur a terme d'una manera bastant unidireccional i convencional. És a dir, no es van dirigir o adequar específicament als diferents usuaris i audiències perquè els responsables polítics regionals i locals poguessin portar a terme les decisions diàries. En aquest sentit, hi va haver algunes interaccions entre els científics i els responsables polítics, tot i que en general la participació dels autors de l'IPCC consultats, dels comunicadors i de les organitzacions no governamentals en aquestes activitats va ser més aviat minsa. Una interacció més gran i més propera sembla que va existir entre els experts dels instituts de meteorologia i els membres de les agències governamentals, ja que van interactuar tant d'una manera horitzontal als diferents ministeris com d'una manera vertical als diferents àmbits regionals i estatals. No obstant això, tant els comunicadors com les organitzacions no governamentals van trobar certes dificultats per a participar en debats i activitats integrades que permetessin donar suport als processos d'influència i de presa de decisions a Espanya derivats del coneixement produït per l'IPCC.
- 2) La cobertura de l'AR5 als mitjans de comunicació. Sobre la cobertura de l'AR5 a Espanya hi va haver opinions diferents entre les persones consultades, encara que la majoria va considerar que la major part dels mitjans van tendir a mostrar principalment els aspectes més sensacionalistes, així com els esdeveni-

- ments extrems, fent ús de marcs interpretatius més aviat alarmistes. Va ser rellevant l'opinió de tres comunicadors sobre els factors que van afectar negativament la cobertura de l'AR5 i que consistien en: 1) la manca d'ús de fonts sòlides d'informació, 2) el fet que la cobertura més important se centrava en els impactes del canvi climàtic i no pas en les possibles solucions, 3) la manca d'interès per traduir i transformar la informació de l'AR5 en històries interessants i significatives per als diversos públics, 4) el fet que la majoria dels periodistes no van mostrar cap formació específica en matèria de medi ambient o de canvi climàtic i 5) la manca d'interès dels equips editorials principals per incloure les qüestions climàtiques als diaris respectius. Altres crítiques sobre la cobertura de l'AR5 feien referència al fet que aquesta comunicació sovint no es considerava prou atractiva, ja que es tendia a proporcionar missatges que donaven una sensació de distància i que simplement repetien de la mateixa manera el que ja s'havia comunicat feia uns quants anys. Segons alguns professionals dels mitjans, l'AR5 simplement es va veure com un altre informe «sobre la mateixa cosa».
- 3) Els missatges principals comunicats. Un dels missatges principals que els autors espanyols de l'AR5 van emfasitzar especialment durant la comunicació dels resultats a Espanya feia referència a l'impacte del canvi climàtic en els recursos hidrològics i el cicle de l'aigua. No obstant això, alguns dels enquestats també van esmentar que el Grup de Treball I va prendre una estratègia més aviat *continuista*: bàsicament acumulava i proporcionava encara més evidència sobre les tendències climàtiques que ja s'havien identificat als informes anteriors. Amb relació al Grup de Treball II, els entrevistats van subratllar el paper més important concedit als *factors no climàtics* (principalment, socials) en l'amplificació dels efectes del canvi climàtic i en la redefinició de les vulnerabilitats. D'altra banda, els científics tendien a produir respostes molt elaborades sobre els riscos potencials del canvi climàtic, mentre que les organitzacions no governamentals se centraven en solucions i estratègies, majorment relacionades amb la implementació de les energies renovables i la desinversió en els combustibles fòssils.
- 4) Les dificultats de comunicació. Les dificultats de comunicació principals subratllades pels enquestats es referien tant al tipus de llenguatge i de marcs utilitzats per l'AR5 com al canvi climàtic en general. En particular, el llenguatge utilitzat per l'IPCC era massa complicat, difícil d'entendre i no gens fàcil de traduir d'una manera intel·ligible per al públic en general. Alguns dels enquestats van esmentar que fins i tot alguns dels gràfics eren incomprendibles per a les audiències a les quals en principi anaven destinats. A més, tampoc no hi ajudava el fet que la major part dels impactes recollits per l'IPCC només es descrivien a escala mundial o a escales regionals molt grans i no s'especificaven localment. Pel que fa als missatges més difícils de comunicar, els nostres enquestats van posar de manifest que les complicacions estaven relacionades amb la mateixa naturalesa complexa, sistèmica i irreversible dels impactes del canvi climàtic, així com amb el fet que les solucions implicaven la necessitat de portar a terme transformacions institucionals de gran abast i canvis en l'*statu quo*. D'una banda, hi ha processos biofísics difícils de comunicar, com és el cas dels punts de no retorn o de l'existència de diverses irreversibilitats, les quals no són considerades pels mètodes i els indicadors nacionals d'avaluació de la riquesa. D'altra banda, hi ha missatges econòmics i socials que són difícils d'articular d'una manera clara, ja que fan referència a la necessitat i a la resistència a canviar el model d'organització socioeconòmica prevalent actualment. En aquest sentit, els missatges més polèmics estaven relacionats no solament amb la necessitat de reduir les emissions i d'arribar a una *estabilització de la temperatura*, sinó amb la necessitat de canviar el *model econòmic de producció*, així com els patrons de demanda i de consum en general. No obstant això, com va esmentar un dels entrevistats, més aviat semblava que les controvèrsies principals sorgien entre els grups d'interès i no pas entre la societat en general.
- 5) La credibilitat, la legitimitat i la contribució a la formulació de polítiques. D'acord amb els entrevistats, tant el nivell de credibilitat com el nivell de legitimitat de la tasca realitzada per l'IPCC són molt alts. Els nostres enquestats

trobaven que la credibilitat i la legitimitat eren altes a causa de la metodologia utilitzada per l'IPCC, la qual requereix un nivell alt de transparència i d'anàlisi en profunditat, i a causa del fet que les conclusions no solament es donaven en termes de certesa, sinó que també indicaven el nivell de consens i de confiança. No obstant això, tot i que es percebia que el treball de l'IPCC intentava contribuir al bé comú global la majoria dels enquestats van reconèixer conflictes entre les conclusions de l'IPCC i les polítiques governamentals, ja que aquestes últimes més aviat se solien centrar en interessos i mesures a curt termini. La majoria dels enquestats creia que les conclusions principals de l'AR5, si es tinguessin en compte, podrien arribar a constituir un obstacle en la formulació dels objectius de la política a Espanya, encara que a la pràctica no contribuïen a la formulació d'objectius polítics concrets. Així, doncs, moltes de les respostes destacaven la manca de compromís de les agències dels governs per a assumir aquestes responsabilitats sobre els problemes del canvi climàtic i implementar les polítiques i les mesures corresponents. Tanmateix, un autor de l'IPCC va expressar obertament que les recomanacions de l'AR5 també es podien veure com una font d'oportunitats i de canvis positius, especialment pel que fa a la creació de llocs de treball a Espanya.

6) La influència. La majoria dels enquestats van creure que la influència dels informes de l'IPCC en la política espanyola havia estat baixa o molt baixa. Això es podria explicar per les limitacions en el model d'interacció entre els agents que participen en la creació de coneixements, els decisors públics i els altres actors socials que s'han comentat més amunt. No obstant això, les expectatives d'influència dels informes de l'IPCC en un futur pròxim són més altes que les que s'han mantingut fins ara. En general, sembla que l'interès general de la tasca de l'IPCC ha disminuït els darrers anys, la qual cosa també concorda amb la tendència a la disminució de la cobertura dels mitjans de comunicació a partir de l'any 2007. Si ens centrem en l'impacte específic dels informes de l'IPCC a Espanya, diversos enquestats van esmentar que, si bé l'informe havia d'esperonar l'acció climàtica en un país amb un potencial alt

d'energies renovables, la reducció de l'ajuda i el canvi d'orientació de la legislació mostrava que les polítiques oficials seguien una direcció oposada. En aquest sentit, s'entén que hi ha altres factors i fonts d'informació que influeixen en les polítiques espanyoles, més enllà del que pugui aportar l'IPCC, i que precisament es relacionen amb els interessos de les corporacions econòmiques i, més concretament, amb els de les energies no renovables i els sectors industrials i financers. D'altra banda, la Unió Europea era vista per tres enquestats com la principal font d'informació alternativa sobre el clima i, per descomptat, com un motor molt important en la normativa sobre el clima a Espanya.

7) El resum per als responsables polítics. La majoria dels enquestats van comentar que en general no havien observat diferències importants entre els tres informes realitzats pels grups de treball originals i el resum final per als responsables polítics, i que aquest últim estava ben elaborat. No obstant això, els que sí que havien detectat diferències van comentar el següent: 1) que algunes xifres definitives sobre les emissions dels països no es van incloure a la versió final del resum a causa de pressions polítiques; 2) que alguns dels missatges o implicacions principals sobre les possibles solucions (com, per exemple, que dues tercers parts de les reserves actuals de combustibles fòssils s'haurien de mantenir sota terra sense explotar) no s'exposaven clarament al resum; 3) que, per contra, algunes de les solucions que sí que eren recollides al resum no s'havien provat científicament o desenvolupat prou, com ara la tecnologia de captura i emmagatzematge de carboni (CCS) o la menció de l'energia nuclear com a solució, i 4) que el missatge principal que l'energia renovable —i la voluntat política necessària per a implementar-la— era l'única solució viable per al canvi climàtic no s'indicava d'una manera prou contundent o prou clara. Així mateix, es va esmentar el paper negatiu d'algunes agències governamentals en el procés de desenvolupament del resum per als responsables polítics, ja que havien diluït les implicacions més contundents.

8) L'emmarcament. Amb relació als processos d'emmarcament i d'ús de marcs interpretatius

utilitzats en la comunicació de l'AR5, la majoria dels enquestats opinava que no hi havia diferències significatives en el tractament dels tres informes i el resum de l'AR5 a Espanya. No obstant això, tres enquestats van esmentar que el Grup de Treball I era el que havia rebut més tractament, seguit del Grup de Treball II, mentre que el Grup de Treball III havia tingut poca cobertura. A més, un periodista va esmentar que, en general, el «nivell d'alarmisme» de la cobertura de l'AR5 havia estat més gran en comparació dels altres informes de l'IPCC. D'altra banda, els enquestats també van mencionar que era difícil comunicar processos d'abast temporal llarg, ja que la major part dels mitjans de comunicació s'interessaven principalment per fets nous i esdeveniments extrems, mentre que els que afectaven el conjunt dels cicles de vida durant molt de temps o els ecosistemes globals rebien poca atenció. En aquest context, alguns enquestats van subratllar la necessitat d'evitar les narratives que provoquen la reducció del sentiment de competència personal. Els marcs alternatius que podrien comportar la mobilització de l'acció inclouen: a) no parlar simplement de «canvi climàtic», ja que sovint el canvi és vist com una cosa positiva, sinó parlar del clima com a «amença»; b) emfasitzar aspectes com el benestar i la salut i enllaçar el discurs del clima amb els efectes en «els nostres nens»; c) subratllar les oportunitats i concentrar-se en la transformació que el canvi climàtic pot arribar a comportar en la millora de la qualitat de vida i la creació d'ocupació; d) evitar produir encara més discursos sobre «males notícies», i e) centrar la comunicació en accions pràctiques sobre el que es pot fer. Concretament, els marcs que els enquestats van considerar més adequats per a comunicar el canvi climàtic es corresponien amb les oportunitats i la innovació, per exemple en qüestions econòmiques, seguits de l'èmfasi en els temes de l'equitat i les responsabilitats compartides. A més, diversos enquestats van esmentar la necessitat de mostrar no solament els impactes d'àmbit local i regional, sinó sobretot solucions i exemples concrets que tothom pogués portar a terme en els contextos d'acció respectius. Per això diversos enquestats van expressar que els missatges i els emmarcaments utilitzats

en cada cas s'havien d'adaptar especialment als diferents públics per mitjà dels diversos mitjans de comunicació. Per exemple, un emmarcament que emfatitzés excessivament les incerteses podia entrar en conflicte amb el que s'esperava escoltar dins d'entorns polítics o corporatius determinats. D'altra banda, un periodista fins i tot va comentar que podria ser interessant analitzar les «narratives de guerra» d'antany, que van aconseguir mobilitzar grans quantitats de persones per fer cara a les amenaces imminents. Segons aquesta opinió, entendre com es van construir i desenvolupar podria ajudar a aprendre a guanyar l'autoritat moral necessària per a actuar col·lectivament i emprendre tots els «sacrificis» que fossin necessaris per fer cara a l'amenaça del canvi climàtic.

23.4. Conclusions

El canvi climàtic continua sent una de les preocupacions principals dels ciutadans a escala mundial, la qual cosa concorda amb les dades sobre l'opinió pública obtingudes tant a Catalunya com a la resta d'Espanya. La crisi econòmica del 2007 pot haver tingut un efecte alleugeridor en el nivell general de preocupació pública pel canvi climàtic, tot i que en realitat el més probable és que hagi provocat l'emergència o la consolidació de nous marcs interpretatius, entre els quals destaquen els que entenen el canvi climàtic com una amenaça global o com una oportunitat per a la creació de llocs de treball, la millora de la qualitat de vida i el desenvolupament econòmic. El marc de l'oportunitat es mostra especialment present en l'opinió pública a Espanya —que ocupa el lloc més elevat de la UE-28 pel que fa a aquesta percepció—, la qual cosa hauria de facilitar la implementació de polítiques dirigides a potenciar una economia baixa en carboni. L'opinió pública espanyola (de la qual disposem de més dades) és una de les que creu més fermament que la lluita contra el canvi climàtic i l'ús més eficient de l'energia podria impulsar l'economia i l'ocupació a la UE, de la mateixa manera que ho podria fer la reducció de les importacions de combustibles fòssils. No obstant això, Espanya és també el segon país de la UE-28 on la majoria de les persones creu que el Govern no fa prou per a protegir el medi ambient, i potser això explica que tres de cada quatre pensin que les decisions am-

bientals no s'han de prendre únicament en l'àmbit nacional, sinó conjuntament amb la UE.

Atesa la importància d'entendre els processos de transmissió del coneixement científic sobre el canvi climàtic a la resta de la societat, aquest treball també ha analitzat la comunicació del *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC a Espanya i a Catalunya. Els resultats obtinguts per mitjà d'un qüestionari respost per vint agents rellevants i l'anàlisi de la cobertura a la premsa durant la publicació d'aquests informes assenyalen que la major part de la comunicació sobre el canvi climàtic ha tendit a mostrar imatges sobre emissions, riscos, impactes i vulnerabilitats, més que no pas a explicar d'una manera entenedora solucions concretes que puguin tenir un caràcter sistèmic o de transformació social i productiva —i que a la vegada puguin ser portades a terme en l'àmbit local o personal. Les opinions expressades pels enquestats també donen suport a la necessitat de defugir una visió de la comunicació climàtica com una activitat unidireccional, de dalt a baix, que pretén omplir buits o superar el dèficit d'informació o de coneixement. Actualment, més aviat s'avança cap a un nou model més complex de creació de significat obert i multidireccional, basat en el suport de solucions i estratègies per a cobrir necessitats específiques en contextos concrets. És a dir, un model basat en la segmentació i articulació d'audiències, usuaris i productors de coneixement que respon a les demandes del coneixement (una *knowledge-demand driven society* en lloc d'una *knowledge-supply driven society*) i, per tant, en consonància amb l'estratègia d'escoltar primer i integrar coneixement tot seguit.

La creació per mitjà de plataformes de diàleg fetes a mida i de canals d'interacció permanents podria contribuir a aquest objectiu. En aquest sentit, és possible que una de les raons del poc impacte que l'AR5 ha tingut a Espanya (i també recentment a la COP21, a París) sigui l'escàs desenvolupament institucional i la participació de les organitzacions delimitadores de les fronteres dels àmbits i les interaccions entre la ciència, la política i la ciutadania (*boundary organisations*), que, a excepció de l'Agència Estatal de Meteorologia i del Servei Meteorològic de Catalunya, són majorment absents en aquest camp. El paper actiu limitat d'aquestes

organitzacions que podrien donar estabilitat, legitimitat i usos polítics i socials específics al coneixement científic ha evitat, en bona part, que l'AR5 hagi tingut un impacte més efectiu en les polítiques i l'acció climàtica a Espanya o, més en general, en el coneixement científic climàtic a la resta de polítiques i sectors econòmics. En aquest sentit, també és possible que la manca d'aquestes plataformes hagi limitat l'articulació d'altres iniciatives d'implicació ciutadana en matèria de canvi climàtic, cada vegada més plurals i complexes, que també requereixen un marc institucional més adient per a la promoció i el suport.

23.5. Recomanacions

En aquest apartat es recullen algunes recomanacions de caràcter general derivades dels resultats obtinguts a partir del qüestionari als agents rellevants, així com de l'anàlisi de les dades i del material consultat amb relació a l'opinió pública, la comunicació i l'ús del coneixement científic sobre el canvi climàtic a Catalunya. Algunes d'aquestes recomanacions també són aplicables a la millora de la implicació ciutadana en aquesta matèria; en tot cas, caldria que s'entenguessin solament com a proposicions temptatives que s'haurien de validar en contextos i audiències concretes segons les estratègies i les accions que es podrien emprendre.

- 1) Millorar el seguiment de l'opinió pública a Catalunya. Tot i l'avenç observat els darrers anys, els estudis actuals de monitoratge de l'opinió pública sobre el clima a Catalunya encara són lluny del que seria desitjable, ja que no permeten destriar les opinions relatives a la mitigació de les de l'adaptació, ni tampoc, en molts casos, les opinions o les accions que es relacionen específicament amb el canvi climàtic de les que es relacionen amb el medi ambient en general. També seria desitjable disposar d'estudis sectorials o orientats especialment a poblacions o a temes concrets, com ara la salut o l'economia verda.
- 2) Aprofitar la gran presència del marc interpretatiu de l'oportunitat del canvi climàtic per a desenvolupar l'economia baixa en carboni. Espanya és el país de la UE-28 on el canvi climàtic es percep més intensament com una oportunitat per a la creació de llocs de treball

- i per al desenvolupament econòmic. Per tant, això hauria d'esperonar, en lloc d'impedir, la implementació de polítiques disruptives en matèria climàtica, particularment en sectors com ara les energies renovables i l'eficiència energètica.
- 3) Millorar substancialment les capacitats i els processos de comunicació del canvi climàtic a Catalunya. D'acord amb els nostres enquestats, les accions, els procediments i les mesures principals que es podrien adoptar per a millorar l'ús i l'aplicabilitat dels resultats dels informes de l'IPCC, molts dels quals es poden extrapolar al cas de la comunicació climàtica en general, tenen a veure amb les propostes següents:
 - a) Adaptar la informació científica climàtica perquè pugui ser útil per a satisfer les necessitats concretes de sectors econòmics determinats a l'hora de planificar les activitats i dissenyar els productes, així com perquè pugui donar suport a la gestió de les administracions públiques en l'àmbit local.
 - b) Donar suport als espais oberts de diàleg i a les xarxes de comunicació permanents per tal de dur a terme debats imparcials amb la presència de representants de la societat civil, experts i responsables polítics.
 - c) Reformular i modificar el llenguatge científic que actualment s'utilitza en la comunicació pública del canvi climàtic. Crear històries significatives basades en un llenguatge senzill i mostrar avaluacions dels riscos climàtics de manera que s'evidenciï el conjunt dels costos totals del canvi climàtic (o de no actuar-hi a temps) i no pas solament els costos econòmics o a curt termini.
 - d) Millorar i donar suport a la professionalització de les persones que intervenen en la comunicació del canvi climàtic.
 - e) Utilitzar i aprofitar marcs interpretatius nous que produeixin una implicació i un sentiment de competència més grans als ciutadans a l'hora d'emprendre accions.
 - 4) Crear i donar suport a les organitzacions delimitadores de fronteres que treballen a les interfícies entre la ciència, la política i la ciutadania. L'objectiu és proporcionar estabilitat a la participació de la diversitat d'agents que és necessari involucrar en la gestió del repte climàtic i evitar la «desconstrucció» dels que intentin minimitzar o fins i tot negar la importància del factor climàtic en els processos de reestructuració social i política. El suport a la innovació institucional de noves *comunitats d'aprenentatge* podria facilitar la creació de processos d'integració de *lliçons apreses* en determinats sectors, tant pel que fa a la mitigació com pel que fa a l'adaptació, perquè es puguin implementar a altres llocs o a escales més grans.
 - 5) Segmentar i «escoltar primer» les diferents audiències i els agents socials rellevants i connectar-los en espais oberts de xarxes d'interacció. Primer cal identificar els diferents públics i audiències dels missatges climàtics i implicar-los en la realització d'avaluacions aplicades a contextos concrets perquè puguin arribar a tenir una certa influència política i guanyin legitimitat i credibilitat. Les diverses estratègies de comunicació i d'implicació cívica del canvi climàtic s'haurien d'adaptar, doncs, a les diferents necessitats i als agents potencials en la producció de coneixement.
 - 6) Integrar i abraçar la complexitat socioambiental en lloc de témer-la per evitar el reduccionisme. Una de les dificultats principals per a la comunicació i l'ús del coneixement científic climàtic té a veure amb la millora de la comunicació i la integració de coneixements relatius a la complexitat de les dinàmiques dels sistemes socioambientals i a les possibles vies d'intervenció. En lloc d'intentar «amagar» o defugir la complexitat, o assumir que el públic serà incapaç d'entendre-la, una estratègia més adient seria intentar integrar-la tant conceptualment com institucionalment. Així, caldria millorar la participació de la diversitat de perspectives i d'agents, d'una manera democràtica, en la comprensió de les implicacions a Catalunya d'aspectes relacionats amb:
 - a) Possibles canvis abruptes, trajectòries no lineals, discontinuïtats dels sistemes ecològics o fenòmens que implicaran ultrapassar punts de no retorn, com ara els 2 °C de temperatura global. Això inclou, també, els efectes acumulatius i les diferents irreversibilitats, en termes de pèrdua o de transformacions de la biodiversitat global, o l'acceleració d'efectes retroactius i amplificadors dels

impactes derivats del mateix canvi climàtic, ja en marxa.

- b) La comunicació de les dimensions socials i polítiques del canvi climàtic i de les solucions estructurals. Fer cara al canvi climàtic no solament és una qüestió de reduir emissions, que afecta el medi ambient o de construir unes infraestructures més resilientes als possibles impactes mantenint la resta del sistema intacte. Existeix un gran consens dins de la comunitat científica que abordar el canvi climàtic sobretot implica un repte de *transformació social*, la qual cosa requereix intervencions i inversions que podrien abastar diversos decennis i processos de col·laboració internacional de gran abast que van molt més enllà dels marcs institucionals de què ara disposem. En aquest sentit, seran fonamentals la consolidació de processos d'aprenentatge socials dirigits a la millora de la comunicació per a *redistribuir responsabilitats* climàtiques i l'ús de recursos globals tenint en compte paràmetres nous d'equitat tant d'àmbit personal, nacional o intergeneracional.

Referències bibliogràfiques

- BECK, S. (2012). «Between tribalism and trust: The IPCC under the “public microscope”». *Nature and Culture*, 7(2), p. 151-173. DOI:10.3167/nc.2012.070203.
- CAPSTICK, S. B.; DEMSKI, C. C.; SPOSATO, R. G. [et al.] (2015). *Public perceptions of climate change in Britain following the winter 2013/2014 flooding* [en línia]. Understanding Risk Research Group working paper 15-01. Cardiff: Cardiff University. <<http://c3wales.org/wp-content/uploads/2015/01/URG-15-01-Flood-Climate-report-final2.pdf>> [Consulta: 18 agost 2015].
- CERES (2014). *Consulta sobre aspectes relacionats amb el medi ambient: Seguiment d'indicadors de sostenibilitat* [en línia]. <http://territori.gencat.cat/ca/01_departament/03_atencio_a_la_ciutadania_i_participacio/04_dret_d'accés_a_la_informació_ambiental/06_resultats_estudi_opinio/> [Consulta: 18 agost 2015].
- CORNELL, S.; BERKHOUT, F.; TUINSTRRA, W. [et al.] (2013). «Opening up knowledge systems for better responses to global environmental change». *Environmental Science and Policy*, 28, p. 60-70.
- DOWNES, A. (1972). «Up and down with ecology: The “issue attention cycle”». *The Public Interest*, 28, p. 38-50. També disponible en línia a: <http://sciencepolicy.colorado.edu/students/envs_5720/downs_1972.pdf> [Consulta: 18 agost 2015].
- EC = EUROPEAN COMMISSION. (2014a). *Climate change: Special eurobarometer 409* [en línia]. <http://ec.europa.eu/health/healthy_environments/docs/ebs_409_en.pdf> [Consulta: 18 agost 2015].
- (2014b). *Attitudes of European citizens towards the environment: Special eurobarometer 416* [en línia]. <http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_416_en.pdf> [Consulta: 18 agost 2015].
- FACTOR CO2. (2014). *Ten tears: La gestión del cambio climático en España 2014: Series CO₂* [en línia]. <<http://www.blogfactorco2.com>> [Consulta: 18 agost 2015].
- FERNÁNDEZ-REYES, R.; PIÑUEL-RAIGADA, J. L.; VICENTE-MARIÑO, M. (2015). «La cobertura periodística del cambio climático y del calentamiento global en *El País*, *El Mundo* y *La Vanguardia*». *Revista Latina de Comunicación Social*, 70, p. 122-140. DOI: 10.4185/RLCS-2015-1038. També disponible en línia a: <www.revistalatinacs.org/070/paper/1038va/08es.html> [Consulta: 18 agost 2015].
- GIFFORD, L.; LUEDECKE, G.; MCALLISTER, L. [et al.] (2016). *World newspaper coverage of climate change or global warming: 2004-2016* [en línia]. Boulder: University of Colorado. Center for Science and Technology Policy Research, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences. <http://sciencepolicy.colorado.edu/media_coverage> [Consulta: 18 agost 2015].
- HANSEN, A. (2015). «News coverage of the environment: A longitudinal perspective». A: HANSEN, A.; COX, R. *The Routledge handbook of environment and communication*. Nova York: Routledge, p. 209-221.
- HERAS, M.; TABARA, J. D. (2014) «Let's play transformations! Performative methods for sustainability». *Sustainability Science*, 9(3), p. 379-398.

- (2015) «Conservation theatre: Mirroring experiences and performing stories in community management of natural resources». *Society and Natural Resources*, p. 1-17.
- HULME, M.; NEUFELDT, H. (ed.) (2010). *Making climate change work for us*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 113-134.
- JAEGER, C. C.; TÀBARA, J. D.; JAEGER, J. (ed.) (2011). *European research for sustainable development*. Berlín: Springer.
- JÄGER, J.; FARELL, A. E. (2006). «Improving the practice of environmental assessment». A: FARRELL, A. E.; JÄGER, J. (ed.). *Assessments of global and regional environmental risks: Designing processes for the effective use of science in policy making*. Washington DC: Resources for the Future, p. 278-293.
- LOCKIE, S.; SONNENFELD, D. A.; FISHER, D. R. (ed.) (2013). *The Routledge international handbook of social and environmental change*. Nova York: Routledge.
- MARQUART-PYATT, S. T.; MCCRIGHT, A. M.; DIETZ, T. [et al.] (2014). «Politics eclipses climate extremes for climate change perceptions». *Global Environmental Change*, 29, p. 246-257.
- MCCRIGHT, A. M.; DUNLAP, R. E.; XIAO, C. (2014). «The impacts of temperature anomalies and political orientation on preceived winter warming». *Nature Climate Change*, 4, p. 1077-1081.
- MEIRA CARTEA, P.; ARTO BLANCO, M.; HERAS HERNÁNDEZ, F. [et al.] (2013). *La respuesta de la sociedad española ante el cambio climático: 2013* [en línia]. Madrid: Fundación MAPFRE. <http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1074055> [Consulta: 18 agost 2015].
- MILMAN, O. (12 desembre 2015). «James Hansen, father of climate change awareness, calls Paris talks "a fraud"». *The Guardian*. També disponible en línia a: <www.theguardian.com/environment/2015/dec/12/james-hansen-climate-change-paris-talks-fraud> [Consulta: 18 agost 2015].
- MITCHELL, R. B.; CLARK, W. C.; CASH, D. W. (2006). «Information and influence». A: MITCHELL, R. B.; CLARK, W. C.; CASH, D. W. [et al.]. *Global environmental assessments: Information and influence*, p. 308-338.
- PEW RESEARCH CENTRE (2015). *Climate change seen as top global threat* [en línia]. <<http://www.pewglobal.org/2015/07/14/climate-change-seen-as-top-global-threat/>> [Consulta: 18 agost 2015].
- SCRUGGS, L.; BENEGAL, S. (2012). «Declining public concern about climate change: Can we blame the great recession?». *Global Environmental Change*, 22(2), p. 505-515.
- TÀBARA, J. D. (2005). «Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *El canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 772-815. També disponible en línia a: <<http://www.gencat.cat/cads/pdf/iccc/C3.pdf>> [Consulta: 18 agost 2015].
- (2010). «Percepció i comunicació del canvi climàtic a Catalunya». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe del canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans. Versió anglesa disponible en línia a: <http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/index.php?option=com_content&task=category§ionid=8&id=39&tipologia=39&Itemid=53> [Consulta: 18 agost 2015].
- (2013). «A new vision of open knowledge systems for sustainability: Opportunities for social scientists». A: ISSC; UNESCO. *World social science report 2013*. París: OECD, p. 112-18. També disponible en línia a: <www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/world-social-science-report-2013/a-new-vision-of-open-knowledge-systems-for-sustainability-opportunities-for-social-scientists_9789264203419-15-en;jsessionid=1jg0rilnpol3m.x-oecd-live-02> [Consulta: 18 agost 2015].
- TÀBARA, J. D.; CHABAY, I. (2013). «Coupling human information and knowledge systems with social-ecological systems change: Reframing research, education and policy for sustainability». *Environmental Science and Policy*, 28, p. 71-81.
- TÀBARA, J. D.; MILLER, D. (2012). «Reframing public opinion on climate change». A: JAEGER, C. C.; HASSELMANN, K.; LEIPOLD, G. [et al.]. *Reframing the problem of climate change: From zero sum*

game to win-win solutions. Abingdon: Earthscan, p. 54-81.

WEICHELGARTNER, J.; KASPERSON, R. (2010). «Barriers in the science-policy-practice interface: Toward a

knowledge-action-system in global environmental change research». *Global Environmental Change*, 20, p. 266-277.

24 La recerca sobre el canvi climàtic

Autors

Lluís Rovira i Pato

Lluís Rovira i Pato és director de CERCA, institució que dona suport i facilita l'activitat dels instituts de R+D promoguts per la Generalitat de Catalunya. És doctor en biologia (Universitat de Barcelona, 1998). La seva recerca actual tracta l'anàlisi bibliomètrica d'institucions i territoris, principalment, i ha liderat alguns projectes competitius. És autor, entre d'altres,

de la classificació de revistes científiques en ciències socials i humanitats CARHUS Plus. Va iniciar la seva trajectòria en gestió i avaluació de la recerca l'any 1992 a la CIRIT. Des d'aleshores, ha estat secretari del Consell Social de la Universitat de Girona, director adjunt de l'AGAUR i adjunt al director general de recerca.

Sumari

Síntesi	581
24.1. Introducció	582
24.2. La recerca sobre el canvi climàtic: temes que s'hi inclouen.....	582
24.3. Centres i grups que fan recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya	582
24.4. Projectes	587
24.4.1. Projectes amb finançament de la Unió Europea	587
24.4.2. Projectes competitius espanyols	588
24.5. Finançament de les administracions	588
24.6. Captació de talent	589
24.7. Resultats	590
24.7.1. Tesis doctorals.....	590
24.7.2. Articles en revistes indexades	590
24.7.3. Documents indexats al RACO	592
24.8. Innovació i transferència de coneixement i tecnologia.....	592
24.9. Biblioteques universitàries i divulgació científica de la recerca en canvi climàtic	592
24.10. Conclusions	593
24.11. Recomanacions	593

Síntesi

Catalunya disposa ja d'una extensa i heterogènia base de recerca en canvi climàtic, tant pel que fa a grups de recerca ubicats en diferents institucions públiques, com pel que fa a un sector privat que participa intensament en projectes de recerca europeus. També la producció científica és quantiosa. En aquest text s'analitzen les principals puntes de qualitat del sistema i es fan algunes recoma-

nacions. Així mateix, es mostren dades sobre les diferents fonts de finançament, basal i de projectes, principalment, i s'intenta anticipar possibles escenaris futurs amb la visió de mantenir tot el potencial científic intacte.

Paraules clau

canvi climàtic, recerca, projectes competitius, producció científica, tesis doctorals, talent

24.1. Introducció

El període d'estudi d'aquest capítol pretén ser continuista amb l'anterior informe i, per tant, comença el 2009 i arriba fins al 2014. Cal, però, esmentar que en algun cas concret les dades tenen un abast temporal diferent (però sempre comprès entre 2009 i 2014). Això s'esdevé per causa de la dificultat d'obtenir dades per al període referenciat. Amb tot, quan és així s'especifica en cada cas i, a més, les dades que es mostren són sempre representatives per a mostrar la tendència i/o l'evolució dins del període d'estudi sencer.

A Catalunya, la recerca en canvi climàtic es porta a terme, principalment, a 7 universitats i a 21 centres de recerca d'altres organitzacions, com CERCA (Centres de Recerca de Catalunya), CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), BSC (Barcelona Supercomputing Center), etc. En total, hi ha 88 grups de recerca SGR reconeguts per la Generalitat de Catalunya. Amb tot aquest potencial, en el període d'estudi, s'han aconseguit 310 projectes europeus, 111 dels quals corresponen al sector privat. També, addicionalment, s'han aconseguit 3 projectes de l'European Research Council (ERC). A l'Estat espanyol s'han aconseguit 171 projectes del Plan Nacional. Hi ha 17 investigadors ICREA treballant en diferents aspectes de la recerca en canvi climàtic. I en aquests anys s'han llegit, a Catalunya, 376 tesis doctorals en aquestes disciplines. En total s'han publicat, entre 2011 i 2014, 3.643 articles indexats al Web of Science (WoS), dels quals 13 corresponen a la revista *Nature* i 4 a la revista *Science*. També s'han publicat 90 articles sobre canvi climàtic a les revistes contingudes al repositori RACO (Revistes Catalanes amb Accés Obert). Cal destacar, a més, que les biblioteques universitàries de Catalunya tenen disponibles per a préstec o accés, a través del CCUC (Catàleg Col·lectiu de les Universitats de Catalunya), 492 títols sobre el canvi climàtic publicats entre 2010 i 2015.

24.2. La recerca sobre el canvi climàtic: temes que s'hi inclouen

En l'elaboració d'aquest capítol s'ha volgut preservar la tasca de determinació temàtica feta per l'autor de l'anterior informe, per a evitar la dificultat d'estudiar evolucions i per a aportar coherència a l'INFORME actual. Per tant, s'ha tingut en compte la transversalitat de la matèria tractada.

Així, s'ha adoptat la classificació en set camps, d'acord amb la que utilitza la Unió Europea per a classificar els projectes europeus competitius que tracten temes relacionats amb el canvi climàtic. Aquesta classificació conté les divisions que segueixen, l'explicació concreta de les quals es pot trobar al SICCC:

- Processos del clima, observacions i projeccions
- Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle
- Interaccions del clima amb l'ozó estratosfèric
- Interaccions del clima amb els canvis de la composició atmosfèrica
- Impactes del canvi climàtic
- Canvi climàtic i riscos naturals i esdeveniments extrems
- Adaptació, mitigació i política respecte del canvi climàtic.

Les paraules clau utilitzades per a fer cerques a les diferents bases de dades han estat, per defecte, si no s'indica el contrari, les que es mostren en l'apartat 24.7.2 d'aquest capítol.

24.3. Centres i grups que fan recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya

En primer lloc, cal destacar les universitats de Catalunya, les quals compten amb nombrosos investigadors de diferents disciplines, que treballen en els departaments universitaris i els grups de recerca corresponents. Tenint en compte el lloc en què s'han llegit tesis doctorals que tracten la temàtica del canvi climàtic, aquestes universitats són les següents:

- Universitat de Barcelona (UB)
- Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)
- Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
- Universitat Pompeu Fabra (UPF)
- Universitat de Girona (UdG)
- Universitat de Lleida (UdL)
- Universitat Rovira i Virgili (URV).

Algunes d'aquestes universitats consten, dins la seva organització interna, d'estructures o centres de recerca sense personalitat jurídica pròpia que porten a terme recerca en canvi climàtic, com ara les que segueixen a continuació:

- Càtedra UNESCO de Cicle de Vida i Canvi Climàtic - ESCI-UPF
- Fundació Centre CIM - UPC

- Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI) - UPC
- Centre for Climate Change (C³) - URV
- Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) - UPC
- Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) - UAB
- Institut de Medi Ambient (IMA) - UdG
- Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM) - UPC.

Un altre tipus d'estructures són els centres CERCA que, en aquest cas, sí que tenen una entitat jurídica pròpia. Són estructures orientades a la recerca, gestionades professionalment i promogudes per la Generalitat de Catalunya. Els centres CERCA que treballen en algun aspecte relacionat amb el canvi climàtic són:

- Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)
- Centre de Recerca en Agrotecnologia (Agrotecnio)
- Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL)
- Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE)
- Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC)
- Institut Català d'Investigació Química (ICIQ)
- Institut Català de Ciències del Clima (IC3)
- Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES)
- Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA)
- Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)
- Institut de Recerca en Energia de Catalunya (IREC)
- Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)
- Institut de Salut Global de Barcelona (ISGlobal).

Cal esmentar que alguns centres de recerca CERCA es troben actualment canviant la seva configuració, per diverses raons. Per exemple, entre els esmentats, el CREAL i ISGlobal estan immersos en un procés de fusió dins del Programa d'Integració de Centres CERCA (SUMA), que finalitzarà, possiblement, el 2016. També l'IPHES s'està fusionant amb altres centres. I finalment, l'IC3, segons un acord del Govern de la Generalitat de Catalunya de 17 de setembre de 2013, es troba en fase de dissolució i ha de ressituar els seus actius de recerca en d'altres institucions.

També, entre la vintena de centres del CSIC que hi ha localitzats a Catalunya, n'hi ha quatre que fan treballs del canvi climàtic:

- Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB)
- Institut de Ciències del Mar (ICM)
- Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA)
- Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua (IDAEA).
- I, finalment, uns altres tipus d'estructures més variades però de gran transcendència per a la recerca climàtica són, també, els següents:
- Barcelona Supercomputing Center (BSC)
- Centro de Investigación Socio-técnica (CISOT-CIEMAT)
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)
- Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)
- Observatori de l'Ebre (OE)
- Observatori Fabra
- Museu de Ciències Naturals de Granollers (MCNG).

Els grups de recerca reconeguts i/o finançats per l'Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca (AGAUR), en el període 2014-2016, que treballen en canvi climàtic figuren en la taula 24.1.

TAULA 24.1. Grups de recerca en canvi climàtic finançats per l'AGAUR (2014-2016)

	Coordinador	Centre	Nom del grup
1	Vassil Alexandrov Nikolov	Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (MareNostrum)	Extreme Scale Computing
2	Javier Retana Alumbroseros	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals	Grup de Dinàmica Forestal i Incendis
3	Josep Peñuelas Reixach	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals	Global Ecology Unit

TAULA 24.1. Grups de recerca en canvi climàtic finançats per l'AGAUR (2014-2016) (Continua)

	Coordinador	Centre	Nom del grup
4	Jordi Catalán Aguilà	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals	Grup d'Ecologia dels Canvis Ambientals (GECA)
5	Josep Maria Alcañiz Baldellou	Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals	Grup Protecció de Sòls
6	Paloma Mas Martínez	Centre de Recerca en Agrigenòmica	Grup de Recerca en Regulació del Desenvolupament (GRD)
7	Jordi Sunyer Deu	Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental	Grup de Recerca en Salut Respiratòria, Contaminació i Desenvolupament Infantil
8	Lluís Brotons Alabau	Centre Tecnològic Forestal de Catalunya	Center for Mediterranean Forest Research (CEMFOR)
9	Xavier Querol Carceller	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Grup Geologia Ambiental
10	Carles Pelejero Bou	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Grup de Biogeoquímica Marina i Canvi Global
11	Joan Grimalt Obrador	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Grup de Recerca Geoquímica en Canvi Global i Climàtic (GRGCGC)
12	Marta Estrada Miyares	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Grup d'Oceanografia Mediterrània
13	Josep Lluís Pelegrí Llopart	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Oceanografia Física i Tecnològica
14	Aurora Pinazo Gassol	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Grup Tensioactius i Química Sostenible
15	Maria José López de Alda Villaizán	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Unitat de Qualitat de l'Aigua i Sòls
16	Angel Guerrero Pérez	Consell Superior d'Investigacions Científiques	Unitat d'Ecologia Química (UCE)
17	Xavier Rodó López	Institut Català de Ciències del Clima	Institut Català de Ciències del Clima
18	Jordi Marsal Vilà	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries	Grup de Relacions Hídriques en Plantes (GRH)
19	Jorge Diogène Fadini	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries	Grup Microalgues Tòxiques i Toxines Associades (ALGATOX)
20	Joan Pera Álvarez	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries	Grup Patologia Vegetal
21	Constantí Stefanescu Bonet	Museu de Ciències Naturals de Granollers	Grup de Recerca en Biodiversitat mitjançant l'Ús de Bioindicadors
22	Melissa Moyer Greer	Universitat Autònoma de Barcelona	Comunicació Intercultural i Estratègies de Negociació (CIEN)
23	Antoni Rosell Melé	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup Dinàmica de Sistemes Naturals i els Impactes Antròpics (ImpactAnt)
24	Giuseppe Munda	Universitat Autònoma de Barcelona	Dynamic Multi-Dimensional Well-Being Assessment
25	Jeroen van den Bergh	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Recerca Economia Ecològica (ECONECOL)
26	Françoise Breton Renard	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Recerca en Recursos Marins i Costaners, Territoris, Paisatges i Migracions INTERFASE
27	Antoni Sánchez Ferrer	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Compostatge de Residus Sòlids Orgànics

TAULA 24.1. Grups de recerca en canvi climàtic finançats per l'AGAUR (2014-2016) (Continua)

	Coordinador	Centre	Nom del grup
28	Alfredo Ruiz Panadero	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Genòmica, Bioinformàtica i Biologia Evolutiva (GBBE)
29	Xavier Pons Fernández	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Mètodes i Aplicacions de Teledetecció i Sistemes d'Informació Geogràfica (GRUMETS)
30	David Saurí Pujol	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Recerca en Aigua, Territori i Sostenibilitat (GRATS)
31	Anna Matas Prat	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Recerca en Economia Aplicada (GEAP)
32	Gerardo Caja Lopez	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup de Recerca en Remugants (G2R)
33	Oriol Nel·lo Colom	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat (GURB)
34	Victoria Reyes García	Universitat Autònoma de Barcelona	Laboratori d'Anàlisi de Sistemes Socio-Ecològics en la Globalització (LASEG)
35	Jordi García Orellana	Universitat Autònoma de Barcelona	Marines and Environmental Biogeosciences Research Group (MERS)
36	Xavier Gabarrell Durany	Universitat Autònoma de Barcelona	Grup Sostenibilitat i Prevenció Ambiental (Sostenipra)
37	Jordi Bonet Pérez	Universitat de Barcelona	Àrea de Dret Internacional Públic i Relacions Internacionals
38	Maria Casado González	Universitat de Barcelona	Grup de Bioètica, Dret i Societat
39	Martí Rosés Pascual	Universitat de Barcelona	Grup de Caracterització Físico-Química i Estimació de l'Activitat Biològica de Compostos Bioactius
40	Santiago Esplugas Vidal	Universitat de Barcelona	Grup Enginyeria de Processos d'Oxidació Avançada
41	Javier Martín-Vide	Universitat de Barcelona	Grup de Climatologia
42	Xavier Úbeda Cartañá	Universitat de Barcelona	Grup de Recerca Ambiental Mediterrània (GRAM)
43	Francesc López Palomeque	Universitat de Barcelona	Grup de Recerca Consolidat d'Anàlisi Territorial i Desenvolupament Regional (ANTERRIT)
44	Oriol Mir Puigpelat	Universitat de Barcelona	Grup de Recerca Consolidat en Dret Administratiu
45	Miquel Canals Artigas	Universitat de Barcelona	Grup de Recerca en Geociències Marines
46	Isabel Pujadas Rúbies	Universitat de Barcelona	Grup de Recerca en Territori, Població i Ciutadania
47	José Esteve Pardo	Universitat de Barcelona	Grup de Regulació de Riscos i de Sectors Estratègics (GRRISE)
48	Narcís Homs Martí	Universitat de Barcelona	Grup Materials Inorgànics Avançats i Catàlisi (MATCAT)
49	Antoni Planes Vila	Universitat de Barcelona	Grup Materials: Transicions de fase i Sistemes Multiescala
50	Jerónimo Lorente Castelló	Universitat de Barcelona	Grup de Meteorologia
51	Albert Soler Gil	Universitat de Barcelona	Grup de Mineralogia Aplicada i Geoquímica de Fluids

TAULA 24.1. Grups de recerca en canvi climàtic finançats per l'AGAUR (2014-2016) (Continua)

	Coordinador	Centre	Nom del grup
52	Jesús Marín Solano	Universitat de Barcelona	Optimització i Jocs Dinàmics en Economia i Finances
53	Lothar Schulte	Universitat de Barcelona	Paleoecologia, Riscs Naturals i Gestió Ambiental (PaleoRisk)
54	Encarnación Moyano Morcillo	Universitat de Barcelona	Grup Química Analítica. Anàlisi de Contaminants
55	Francesc Sabater Comas	Universitat de Barcelona	Research Group on Forest and Stream Ecological Links: Watershed Management and Restoration (FORESTREAM)
56	Fernando Julián Pérez	Universitat de Girona	Disseny Industrial i Desenvolupament de Producte PRODIS (GRCT:33)
57	Josep Mas Pla	Universitat de Girona	Grup Geologia Aplicada i Ambiental (GAIA)
58	Xavier Casamitjana Vila	Universitat de Girona	Grup de Física Ambiental
59	Joan Manuel Trayter Jiménez	Universitat de Girona	Grup de Recerca de Dret Urbanístic
60	Elena del Rey Canteli	Universitat de Girona	Grup d'Investigació en Economia Pública (GIEP)
61	Carlos Cantero Martínez	Universitat de Lleida	Agronomia i Medi Ambient en Sistemes Agrícoles Mediterranis
62	Gustavo A. Slafer Lago	Universitat de Lleida	Agronomia i Millora del Rendiment i Qualitat de Cultius Extensius
63	M. Teresa Sebastià Álvarez	Universitat de Lleida	Gestió i Anàlisi Multi-Escala de biodiversitat i serveis ambientals als Sistemes forestals i agrícoles sota canvi global (GAMES)
64	Jordi Voltas Velasco	Universitat de Lleida	Grup Producció Forestal
65	Josep Maria Villar Mir	Universitat de Lleida	Grup Sòls i Aigües
66	José Ramón Lago Martínez	Universitat de Vic	Grup de Recerca sobre Atenció a la Diversitat (GRAD)
67	Alberto T. Estévez Escalera	Universitat Internacional de Catalunya	Grup Arquitectures Genètiques
68	Anna Bacardit Dalmasas	Universitat Politècnica de Catalunya	Càtedra A3
69	José Luís García de Vicuña Muñoz de la Nava	Universitat Politècnica de Catalunya	Centre d'Enginyeria de Processos, Energia i Medi Ambient (CEPEiMA)
70	Francesc Magrinyà Torner	Universitat Politècnica de Catalunya	Enginyeria de les Xarxes i les Infraestructures de Transport (EXIT)
71	M. Dolors Grau Vilalta	Universitat Politècnica de Catalunya	Exploratori dels Recursos de la Natura
72	Blas Echebarria Domínguez	Universitat Politècnica de Catalunya	Grup de Biologia Computacional i Sistemes Complexos (BIOCOM-SC)
73	José María Baldasano Recio	Universitat Politècnica de Catalunya	Grup de Recerca de Ciències de la Terra (GReCT)
74	Joaquim Sabate Bel	Universitat Politècnica de Catalunya	Grup de Recerca en Urbanisme
75	Ramon Pallàs Areny	Universitat Politècnica de Catalunya	Grup d'Instrumentació, Sensors i Interfícies
76	Agustín Sánchez-Arcilla Conejo	Universitat Politècnica de Catalunya	Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM/UPC)

TAULA 24.1. Grups de recerca en canvi climàtic finançats per l'AGAUR (2014-2016) (Continua)

	Coordinador	Centre	Nom del grup
77	Jordi Llorca Piqué	Universitat Politècnica de Catalunya	Nanoenginyeria de Materials Aplicats a l'Energia (NEMEN)
78	José Ignacio Velasco Perero	Universitat Politècnica de Catalunya	Polyfunctional polymeric materials (POLY2)
79	Francesc Robusté Antón	Universitat Politècnica de Catalunya	Recerca i Innovació en Transport, Mobilitat i Logística (CENIT)
80	Julián Sempere Cebrián	Universitat Ramon Llull	Grup d'Enginyeria de Processos i Sostenibilitat
81	David Altadill Felip	Universitat Ramon Llull	Geofísica
82	Jordi Díaz Ferrero	Universitat Ramon Llull	Grup IQS per a la Seguretat Alimentària i Mediambiental (IQS-SAMA)
83	Laureano Jiménez Esteller	Universitat Rovira i Virgili	Anàlisi i Gestió Ambiental Fent Servir Eines de Modalització de Processos (AGACAPE)
84	Manola Catalina Brunet	Universitat Rovira i Virgili	Centre for Climate Change (C ³)
85	Francesc Medina Cabello	Universitat Rovira i Virgili	Enginyeria dels Materials i les seves Aplicacions (MEtA)
86	Agustí Segarra Blasco	Universitat Rovira i Virgili	Grup de Recerca d'Innovació i Dinàmica Empresarial (GRIDE)
87	Alberto Coronas Salcedo	Universitat Rovira i Virgili	Grup de Recerca en Enginyeria Tèrmica Aplicada (CREVER)
88	Xavier Correig Blanchar	Universitat Rovira i Virgili	Microsystems and Nanotechnologies for Chemical Analysis (MINOS)

Per a confeccionar la relació de grups s'ha cercat l'expressió «canvi climàtic», principalment, en el resum de l'activitat del grup. Això fa que algun grup que treballa en algun aspecte colateral del canvi climàtic també hi figuri (hi ha un cas concret, el LIM, que es considera alhora un centre de la UPC i també un grup de recerca).

Els grups seleccionats, doncs, abasten diferents disciplines científiques. Dels 88 grups reconeguts, 43 són finançats, també, per la Generalitat de Catalunya per mitjà de l'AGAUR.

24.4. Projectes

24.4.1. Projectes amb finançament de la Unió Europea

Els projectes europeus han estat nombrosos en la comunitat científica i tecnològica catalana, en l'àmbit del canvi climàtic. Les dades que es presenten a continuació han estat facilitades per l'Observa-

tori de la Recerca de l'Institut d'Estudis Catalans (OR-IEC), a través del portal Meridià (Mesurament de la Recerca, el Desenvolupament i la Innovació).

Resumint breument l'activitat desenvolupada a Europa, s'han concedit 310 projectes a empreses o institucions catalanes des de 2010. D'aquests, 111 projectes s'han fet en el sector privat, i la resta en el sector públic.

En el sector privat, les principals empreses que hi participen són Starlab Barcelona (15), IDIADA (14), Amphos XXI Consulting (9), Cetaqua (7) i Sensing & Control Systems (7). Entre les institucions públiques destaquen les universitats catalanes, amb 72 projectes. Dins d'aquest grup, l'ICTA té 15 projectes, i el Departament d'Electrònica de la UPC, 11. A continuació, cal esmentar els centres CERCA, amb 61 projectes, i la bona participació de l'IREC, amb 15 projectes, i de l'IC3, amb 12. El CSIC compta amb 29 projectes (16 dels quals

corresponen a l'ICM, i 15, a l'IDAEA), i els centres tecnològics TECNIO, amb 13 (6 dels quals corresponen a Leitat), etc.

Tal com s'indica a la taula 24.2, la coordinació de projectes és propera al 30 % pel que fa a les universitats, els centres CERCA i el CSIC.

Adicionalment, a la taula 24.2 figuren també les concessions de l'European Research Council a Catalunya. En aquest cas, els investigadors que treballen en temàtiques relacionades amb el canvi climàtic a Catalunya i que han obtingut finançament són els següents:

- Rubén Francisco Martín Romo (ICIQ) ERC-2011-StG
Chasing a fundamental challenge in catalysis: a combined cleavage of carbon-carbon bonds and carbon dioxide for preparing functionalized molecules
- Roman Tauler Ferré (CSIC) ERC-2012-AdG
Chemometric and high-throughput omics analytical methods for assessment of global change effects on environmental and biological systems
- Josep Peñuelas i Reixach (CREAF) ERC-2013-SyG
Imbalance-P: Effects of phosphorus limitations on life, earth system and society

Entre tots aquests projectes europeus destaca el projecte Imbalance-P, liderat pel CREAF, no solament per la quantia econòmica obtinguda, sinó per la rellevància mateixa del contingut del projecte, en el marc d'una convocatòria tan emblemàtica i

selectiva en l'àmbit europeu com l'European Research Council Synergy Grants.

També és molt remarcable la participació de l'IREC al KIC InnoEnergy de la UE. L'IREC lidera l'àrea d'energies renovables del KIC, proposa un full de ruta i avalua propostes per a definir una estratègia a llarg termini. El KIC connecta actius com ara coneixement, emprenedors, talent i recursos (amb una distribució molt fragmentada a Europa), i els alinea per a cercar solucions als mercats i fer impacte social.

Pel que fa a projectes europeus col·laboratius, cal destacar el projecte Field-AC, liderat pel LIM, de la Universitat Politècnica de Catalunya, seleccionat per la Comissió Europea com el millor projecte de R+D centrat en l'ús d'observacions terrestres, sobretot mitjançant satèl·lits, per a controlar les zones costaneres. El projecte ha estat reconegut entre vuit-centes altres propostes finançades dins del Setè Programa Marc de R+D de la Unió Europea.

24.4.2. Projectes competitiu espanyols

La participació catalana en els projectes estatals també ha estat nombrosa entre 2010 i enguany. Hi destaca el nombre elevat de projectes que capten les universitats catalanes, i entre elles, especialment, la UB (29), la UAB (18) i la UPC (17). A continuació cal esmentar els centres CERCA, els que més projectes tenen dels quals són el CREAF (10), l'IREC (7) i l'IC3 (7). Finalment, seguint aquest ordre de rellevància, destaca el CSIC, en el qual s'inclou l'IDAEA com a centre a Catalunya que compta amb projectes espanyols (12), seguit de l'ICM (8). Aquestes informacions s'indiquen a la taula 24.3.

TAULA 24.2. Coordinació de projectes de recerca catalans en l'àmbit europeu

	Projectes	Coordinats	Percentatge
Empreses	111	18	16,22
Universitats	72	21	29,17
CERCA	61	17	27,87
CSIC	39	13	33,33
TECNIO	13	1	7,69
Administració	10	1	10,00
BSC	4	0	0,00
Total	310	71	100,00

TAULA 24.3. Participació catalana en projectes d'àmbit estatal

	Projectes	Percentatge
Universitats	93	54,39
CERCA	42	24,56
CSIC	33	19,30
BSC	2	1,17
TECNIO	1	0,58
Total	171	100,00

Quant als projectes d'àmbit estatal (taula 24.3), es repeteix el mateix esquema que en el cas dels projectes d'àmbit europeu (taula 24.2), pel que fa a les primeres posicions a la llista d'institucions captadores de recursos.

24.5. Finançament de les administracions

Les diferents administracions que conflueixen a Catalunya financen la recerca en canvi climàtic. La Unió Europea ho fa de manera competitiva mitjançant el Setè Programa Marc de R+D, i ara també amb Horitzó 2020 (s'inclouen aquí les concessions de l'European Research Council). Caldrà veure, en els propers anys, si el pla Juncker aportarà finançament a accions de recerca o innovació relacionades amb el canvi climàtic.

Així mateix, els fons europeus Interreg IVA POC-TEFA i FEDER financen el projecte de l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (OPCC), que gestiona la Comunitat de Treball dels Pirineus (CTP) per a la identificació, caracterització i avaluació dels impactes del canvi climàtic sobre el territori dels Pirineus, amb la participació de l'Agència Catalana de l'Aigua i la Universitat de Barcelona.

D'altra banda, l'Estat aporta el finançament per a fer funcionar els quatre centres del CSIC que desenvolupen recerca en aquest àmbit, i també participa al 50 % en el BSC i en el CISOT-CIEMAT. Així mateix, fins ara, el Plan Nacional ha aportat fons competitius per a projectes de recerca, principalment.

La Generalitat de Catalunya finança el funcionament dels centres CERCA sobre una base molt competitiva. I també el BSC, el SMC, l'ICGC i les universitats catalanes al seu torn, i d'acord amb la seva autonomia, financen alguns centres propis de recerca en canvi climàtic. També, de manera simbòlica, des de fa uns anys s'atorguen els Premis Medi Ambient en les seves diferents modalitats per a estimular projectes, investigadors i institucions. Un exemple d'aquests, entre molts d'altres, és el premi que va guanyar el doctor Jordi Camins Just, l'any 2012, per la seva trajectòria en la protecció i l'estudi de les glaceres al sud d'Europa.

Altres administracions, com la Diputació de Barcelona, han obert recentment (al juny de 2005)

alguna convocatòria de projectes de recerca en matèria de canvi climàtic.

També l'Euroregió Pirineus Mediterrània ha fet convocatòries sobre el canvi climàtic. La darrera, el 2015, és una convocatòria de 120.000 € per a projectes de recerca i innovació d'adaptació al canvi climàtic, adreçats majorment a l'agricultura.

Un dels reptes de Catalunya és l'escenari legal i polític que, pel que fa a la recerca en canvi climàtic, podria conferir un protagonisme més gran a la Generalitat de Catalunya com a administració finançadora de projectes de recerca.

No es disposa de dades sistematitzades per a analitzar el detall de la despesa del sector privat en projectes de recerca del canvi climàtic a Catalunya.

24.6. Captació de talent

La captació d'investigadors de talent, a Catalunya, es produeix de manera sistemàtica des de fa almenys un decenni. En aquest sentit, universitats i centres de recerca presenten investigadors rellevants com a investigadors principals dels seus

TAULA 24.4. Investigadors finançats per la ICREA que treballen a Catalunya

Cognom	Nom	Institució
Agustí Bellester	Jordi	IPHES
Alexandrov	Vassil	BSC
Bartumeus	Frederic	CSIC
Bergh	Jeroen van den	UAB
Casal	Paula	UPF
Doblas-Reyes	Francisco J.	BSC
Madella	Marco	UPF
Mencuccini	Maurizio	CREAF
Pelejero	Carles	CSIC
Reyes-García	Victòria	UAB
Rivas	Florent	IPHES
Rodó	Xavier	IC3
Rosell	Antoni	UAB
Slafer	Gustavo A.	UdL
Solé	Ricard	UPF
Williams	Andrew	UPF
Ziveri	Patrizia	UAB

grups. Aquest és el cas del doctor Louis Lemkow a l'ICTA-UAB, el doctor Javier Martín-Vide a la UB, la doctora Manola Brunet a la URV, el doctor Jordi Sunyer al CREAL, el doctor Joan Grimalt al CSIC, i el doctor Josep Peñuelas al CREAM, entre molts d'altres.

La llista seria llarga. En qualsevol cas, un dels aparadors visibles de captació de talent és la convocatòria de la ICREA, de la Generalitat de Catalunya. Els investigadors finançats per la ICREA que treballen a Catalunya en aspectes relacionats amb el canvi climàtic són els que figuren a la taula 24.4.

L'any 2013, la Generalitat va posar en funcionament una altra eina de captació de talent per a les universitats. Es tracta del Pla Serra Húnter (SHP), que permet a les universitats, entre d'altres coses, cobrir parcialment jubilacions incorporant professors d'alt nivell de recerca. Caldrà veure, en els propers anys, com evoluciona l'aplicació d'aquest programa, però podria tenir una incidència rellevant en les àrees que s'apleguen a treballar en canvi climàtic.

24.7. Resultats

24.7.1. Tesis doctorals

A partir de les dades que faciliten l'arxiu de les Tesis Doctorals en Xarxa (TDX) i el repositori del Consorci de Serveis Universitaris de Catalunya (CSUC) per a tesis doctorals, s'han cercat aquelles que pel que fa a la temàtica tenien alguna relació amb el canvi climàtic. En aquest cas, són tesis llegides entre 2010 i 2015 (taula 24.5).

TAULA 24.5. Tesis sobre canvi climàtic (2010-2015)

Universitat	Tesis
UB	124
UAB	105
UPC	89
UdG	21
URV	19
UdL	16
UPF	2

TAULA 24.6. Paraules clau cercades en revistes indexades al Web of Science (2011-2014)

Paraules clau	Articles (2011-2014)	Percentatge
<i>carbon dioxide</i> (CO ₂)	690	18,94
<i>climate change</i>	557	15,29
<i>global change</i>	545	14,96
<i>emissions</i>	451	12,38
<i>changes in temperature</i>	443	12,16
<i>drought</i>	290	7,96
<i>methane</i> (CH ₄)	188	5,16
<i>proxy</i>	185	5,08
<i>sea level change</i>	184	5,05
<i>air quality</i>	181	4,97
<i>climate models</i>	166	4,56
<i>carbon cycle</i>	132	3,62
<i>global warming</i>	123	3,38
<i>aerosols</i>	110	3,02
<i>climate change impacts</i>	100	2,74
North Atlantic Oscillation (NAO)	94	2,58
<i>changes in precipitation</i>	82	2,25
<i>climatic variability</i>	82	2,25
Antarctica	72	1,98
<i>climate series</i>	64	1,76
European project for ice coring in Antarctica (EPICA)	55	1,51
<i>phenology</i>	54	1,48
El Niño Southern Oscillation (ENSO)	53	1,45
<i>carbon storage</i>	48	1,32
<i>greenhouse gases</i> (GHG)	47	1,29
<i>climate predictions</i>	43	1,18
<i>energy and climate change</i>	43	1,18
<i>low frequency variability</i>	43	1,18
<i>environmental inventory</i>	42	1,15
<i>carbon capture</i>	40	1,10
<i>Mediterranean storms</i>	31	0,85
<i>sinks</i>	31	0,85
<i>coastal erosion</i>	29	0,80
Greenland ice core project (GRIP)	29	0,80

TAULA 24.6. Paraules clau cercades en revistes indexades al Web of Science (2011-2014) (Continua)

Paraules clau	Articles (2011-2014)	Percentatge
<i>ice sheet</i>	26	0,71
<i>earth system models (ESM)</i>	25	0,69
<i>solar constant</i>	25	0,69
<i>ice cores</i>	24	0,66
<i>glacier</i>	23	0,63
<i>heat waves</i>	23	0,63
<i>fossil fuels</i>	22	0,60
<i>atmospheric warming</i>	21	0,58
<i>downscaling</i>	20	0,55
<i>carbon budget</i>	19	0,52
<i>abrupt climate change</i>	18	0,49
<i>climatic oscillations</i>	18	0,49
<i>emission inventory</i>	18	0,49
<i>temperature extremes</i>	15	0,41
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	14	0,38
<i>environmental mitigation</i>	12	0,33
<i>agriculture climate change</i>	11	0,30
Younger Dryas	11	0,30
<i>climate feedbacks</i>	10	0,27
<i>ice melting</i>	10	0,27
<i>radiative forcing</i>	9	0,25
<i>hurricanes</i>	6	0,16
<i>climate engineering</i>	5	0,14
<i>CO₂ track</i>	5	0,14
<i>extreme weather events</i>	5	0,14
<i>human health and climate change</i>	4	0,11
<i>mobility and climate change</i>	3	0,08
<i>paleoclimatology</i>	3	0,08

24.7.2. Articles en revistes indexades

D'acord, principalment, amb les paraules seleccionades que es mostren a la taula 24.6, la publicació d'articles en revistes indexades al Web of Science entre 2011 i 2014 ha estat de 3.643 documents.

Cal tenir en compte que les paraules clau s'han cercat en el títol, en les paraules clau i en el resum de cada article. La taula 24.6 pot presentar encaivalcaments, és a dir, que un mateix article figuri en els diversos recomptes segons les diferents paraules clau, però el nombre total de 3.643 correspon veritablement a 3.643 articles.

Entre els articles més citats (amb més de dues-centes citacions), hi destaquen els següents:

- «The Twentieth Century Reanalysis Project», publicat a *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, l'any 2011, amb 583 citaci-

TAULA 24.7. Revistes científiques en què s'han publicat més articles relacionats amb el canvi climàtic

Revista	Nombre d'articles
<i>PLOS ONE</i>	99
<i>Atmospheric Environment</i>	69
<i>Science of the Total Environment</i>	54
<i>Atmospheric Chemistry Physics</i>	49
<i>Environmental Science and Technology</i>	31
<i>Bioresource Technology</i>	23
<i>Journal of Geophysical Research: Atmospheres</i>	22
<i>Journal of Cleaner Production</i>	22
<i>Biogeosciences</i>	21
<i>Climatic Change</i>	21
<i>Water Research</i>	20
<i>Hydrobiologia</i>	20
<i>Marine Ecology Progress Series</i>	19
<i>Energy Policy</i>	18
<i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i>	17
<i>Geophysical Research Letters</i>	17
<i>Climate Dynamics</i>	17
<i>Chemosphere</i>	16
<i>Global Change Biology</i>	16
<i>Quaternary Science Reviews</i>	16
<i>Astronomy and Astrophysics</i>	16

ons (doctora Manola Brunet, del C³, Universitat Rovira i Virgili).

- «Global convergence in the vulnerability of forests to drought», publicat a *Nature*, l'any 2012, amb 219 citacions (doctor Jordi Martínez Vilalta, del CREAM).
- «TRY - a global database of plant traits», publicat a *Global Change Biology*, l'any 2011, amb 210 citacions (doctor Marc Estiarte i doctor Joan Llussià, del CREAM).

A la taula 24.7 es mostra, segons una anàlisi per revistes, la relació de revistes científiques en les quals s'han publicat més articles relacionats amb el canvi climàtic.

A la revista *Nature* s'han publicat un total de 13 documents, i a *Science*, 4.

24.7.3. Documents indexats al RACO

El repositori RACO (<http://www.csuc.cat/ca/biblioteques/revistes-catalanes-amb-acces-obert-raco>), gestionat pel CSUC, ofereix l'accés obert a 448 revistes catalanes. En aquest repositori s'hi troben les principals revistes dels centres d'estudis comarcals, entre d'altres.

Entre els anys 2010 i 2015, en aquestes revistes s'han publicat uns noranta documents sobre el canvi climàtic. Algunes d'aquestes revistes són les següents:

- *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*
- *L'Atzavara*
- *Biblio 3w: Revista Bibliogràfica de Geografia y Ciencias Sociales*
- *Els Cingles de Collsacabra*
- *Contributions to Science*
- *Documents d'Anàlisi Geogràfica*
- *Dossiers Agraris*
- *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*
- *Estudis Altafullencs*
- *Geologica Acta*
- *Nemus: Revista de l'Ateneu de Natura*
- *L'Ordit: L'Anuari del CREM*
- *Papers: Revista de Sociologia*
- *Ponències: Revista del Centre d'Estudis de Granollers*
- *Reboll: Butlletí del Centre d'Història Natural de la Conca de Barberà*

- *Recerca: Revista de Pensament i Anàlisi*
- *Revista Catalana de Dret Ambiental*
- *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*
- *Revista de la Societat Catalana de Química*
- *Sostenible?*
- *Territoris*
- *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*
- *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona.*

Entre les revistes amb més documents sobre el canvi climàtic hi ha *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra* (11), *Contributions to Science* (5) i *Geologica Acta* (4), entre d'altres.

És important remarcar la importància d'aquesta producció científica, ja que en alguns casos pot representar una aportació local molt enriquidora, com per exemple l'article de Constantí Stefanescu «Papallones i canvi climàtic a l'àrea del Montseny», publicat l'any 2010 a la revista *Ponències: Revista del Centre d'Estudis de Granollers*.

24.8. Innovació i transferència de coneixement i tecnologia

No existeix cap font documental que aportï informació sistematitzada sobre la transferència de tecnologia i coneixement, en aquest àmbit. Per això, l'aproximació que es fa aquí, per part de l'autor, és destacar algun projecte especialment rellevant al qual s'ha pogut tenir accés.

És el cas del projecte ClimaDat, conduït pel doctor Xavier Rodó, de l'Institut Català de Ciències del Clima, i finançat per la Fundació La Caixa, amb un pressupost de gairebé 6 M€ (<http://www.climadat.es>).

ClimaDat és una xarxa de vuit estacions d'observació i investigació del clima, distribuïda en diferents espais naturals protegits de l'Estat espanyol («sites», en anglès). La intenció del projecte és crear un sistema d'observació directa del canvi climàtic i del seu impacte en l'àmbit local.

Així mateix, cal esmentar també el projecte ACCUA (Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua) 2008-2011, coordinat pel doctor Jaume Terradas i pel doctor Javier Retana del CREAM, i finançat per la Fundació Catalunya - La Pedrera, amb un import proper a 700.000 € (<http://www.cream.uab.cat/accua>).

ACCUA ha valorat la vulnerabilitat del litoral català segons els efectes principals del canvi climàtic, especialment pel que fa a la disponibilitat d'aigua.

24.9. Biblioteques universitàries i divulgació científica de la recerca en canvi climàtic

Al CCUC, entre 2010 i 2015, s'hi han incorporat centenars de llibres sobre el canvi climàtic. D'aquests, 300 són en anglès, 139 en castellà i 53 en català. Totes aquestes obres contribueixen a la divulgació i l'estudi de les matèries relacionades amb aquesta disciplina tan heterogènia, en l'àmbit universitari.

Pel que fa estrictament a la divulgació científica, cal esmentar la tasca que duu a terme el portal Recerca en Acció (<http://www.recercaenaccio.cat>), promogut per la Generalitat de Catalunya, en el qual apareixen, periòdicament, reportatges i informacions sobre el canvi climàtic, adreçats al públic en general i als escolars. Alguns d'aquests documents són els següents:

- «On busquen el menjar els ocells?»
- «Biodiversitat en el bentos de l'estret de Brandsfield»
- «Afecten els cotxes l'escalfament de la Terra?»
- «El canvi climàtic empeny els ocells cap al nord»
- «Tara: ciència dalt d'un veler».

Cal dir, però, que tant els mitjans de comunicació (la premsa escrita, TV3, l'Associació Catalana de Comunicació Científica, etc.) com les universitats de Catalunya, el CSIC, l'Institut d'Estudis Catalans, l'Observatori Fabra, i l'Observatori de l'Ebre són també actors molt importants de la divulgació científica del canvi climàtic. També és rellevant la tasca del CosmoCaixa i del Museu Blau. Milers de visitants passen per les seves instal·lacions, exposicions, webs i blogs, en els quals moltes vegades es tracten temàtiques relatives al canvi climàtic.

A Catalunya, hi ha una acció que va celebrar el 2015 el seu 20è aniversari, la Setmana de la Ciència. Cada any, durant el mes de novembre, es dedica una especial atenció a activitats científiques divulgatives, moltes de les quals tenen a veure amb el canvi climàtic.

24.10. Conclusions

A partir de les dades dels grups de recerca SGR, es comprova que la recerca en canvi climàtic és molt heterogènia segons les disciplines. Inclouent-hi grups de recerca, les principals institucions que fan recerca són les universitats, els centres CERCA i els centres del CSIC. Cal dir, també, que el sector privat agregat és qui més participa en els projectes de recerca europeus, davant de qualsevol institució pública.

A Catalunya, la recerca en canvi climàtic presenta puntes de qualitat mesurables a partir de les concessions de l'European Research Council, les coordinacions de projectes europeus, la participació en el KIC InnoEnergy, i també a partir de la captació de talent per part de les universitats, el CSIC, la Institució CERCA, la ICREA, etcètera.

És important destacar que la quantitat i finançament de projectes europeus duplica l'aportació de l'Estat en aquesta matèria. I, també, que pràcticament no existeixen convocatòries de projectes de recerca de l'Administració catalana en canvi climàtic. Caldrà seguir l'evolució d'aquest punt associat als esdeveniments polítics a Catalunya, ja que els grups catalans hauran de disposar de les fonts de finançament necessàries, sigui quin sigui el context estatal. L'Estat, amb els centres del CSIC, per una banda, i la Generalitat de Catalunya, amb les universitats i els centres CERCA, per una altra, financen de manera basal la recerca en canvi climàtic, i això facilita la captació de projectes.

A partir de la producció científica, es pot veure com les emissions de CO₂ i l'increment associat de la temperatura (l'efecte d'hivernacle) són les principals temàtiques tractades en els articles científics. També, però ja a una certa distància, es tracta la qüestió de les secades, la qualitat de l'aire i l'increment del nivell del mar.

24.11. Recomanacions

Catalunya mostra una bona base de recerca en canvi climàtic, que es recomana cuidar, mantenir i fer créixer. Damunt d'aquesta extensa base, s'aprecien determinades puntes de qualitat en recerca que caldria ampliar i potenciar. En aquest sentit, es recomana participar i sobretot liderar el

màxim nombre de projectes i iniciatives europees, i especialment intentar obtenir millors resultats en projectes de l'ERC. Algunes institucions catalanes, com el CREAM, ja han desenvolupat aquesta estratègia des de fa temps, amb resultats excel·lents. Seria interessant, també, estudiar com algunes institucions catalanes poden aproximar-se o vincular-se al Climate-KIC de la UE.

Una altra recomanació important és aplicar el màxim rigor a qualsevol procés de selecció de personal investigador, sigui del nivell que sigui. L'atracció i el manteniment del talent investigador van associats a una gestió eficaç dels recursos humans en recerca, i cal ser molt curós, a les diferents institucions, per a adequar-se als protocols de selecció adients. En aquest sentit, fóra molt recomanable que les institucions treballessin per a rebre el reconeixement HRS4R (Human Resources Strategy for Researchers) d'Euraxess de la Comissió Europea, com ja ho han fet, a hores d'ara, el BSC, el CREAM, el CRAG, el CREAL, l'ISGlobal, l'ICN2, l'IRTA, la UAB, la UPF, la URV i la UB.

La reorganització de les institucions de recerca és un fenomen «natural» en sistemes madurs i complexos. Per tant, caldria que les diferents administracions vetlessin perquè en aquestes transformacions mai no es perdi el potencial científic, sinó que es potenciïn els equips i els grups de recerca, i restin inclosos a la institució que sigui. Aquest punt pot ser molt rellevant en els propers anys, pel que fa a la situació dels centres del CSIC a Catalunya, en cas de canvi de marc legal català. També, en aquest sentit, la Generalitat de Catalunya hauria de fer els esforços necessaris per a suplir, com a mínim, el finançament competitiu del Plan Nacional que arriba als grups de recerca catalans, amb nous programes i fons de recerca competitiva.

En l'àmbit temàtic, és encara un repte de magnitud internacional crear aquelles tecnologies que han de permetre alliberar l'atmosfera de la gran

quantitat de CO₂ que conté. L'alentiment de les emissions no és suficient per a esmorteir l'efecte de la gran quantitat de CO₂ atmosfèric; caldrien mecanismes proactius per a transformar el CO₂ en d'altres compostos que no portin a un increment global de la temperatura. Aquest és un repte científic de grans dimensions que cal afrontar en les diverses comunitats d'investigadors d'arreu.

Europa és, actualment, una font de finançament molt important. En aquests moments, i fora dels paràmetres habituals, hi ha una possibilitat addicional de finançament extremament estratègica. Es tracta de les accions que finançarà l'anomenat Pla Juncker. Caldria organitzar la comunitat científica que treballa en canvi climàtic a Catalunya perquè una part de les accions que es finançaran vagin adreçades a la recerca i la innovació associades al canvi climàtic, als seus efectes i a la seva mitigació. Per a fer això és imprescindible atraure l'atenció del sector privat, perquè s'impliqui en el cofinançament d'aquestes accions.

El sector privat i el canvi climàtic estan molt vinculats entre si, en els projectes europeus. En canvi, costa d'apreciar la magnitud d'aquesta activitat en el dia a dia de la recerca. Fóra bo que la divulgació científica s'estengués, especialment, als resultats de la recerca del sector privat en aquesta matèria, i que la ciutadania tingués més evidència del que s'està fent.

Finalment, cal esmentar que el TERMCAT i l'AGAUR han creat recentment el *Tesaurus de termes de recerca* (http://www.termcat.cat/ca/Diccionaris_En_Linia/176/Fitxes), que és un conjunt de paraules clau utilitzades, habitualment, en la recerca catalana, a partir del buidatge de la informació dels grups de recerca SGR. Seria bo que aquest tesaurus fos utilitzat per la comunitat científica que treballa en canvi climàtic, i si algun terme encara no hi és inclòs, caldria fer una proposta perquè el TERMCAT l'hi posés.

E PÍLEG JURÍDIC: De Kyoto a París (COP21). Escenaris i reptes futurs en les polítiques internacionals de canvi climàtic

Autors

Isabel Pont i Castejón

Mar Campins Eritja

Juan Emilio Nieto Moreno

Isabel Pont i Castejón és doctora en dret i professora titular de dret administratiu de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Ha estat vinculada professionalment al dret ambiental des de l'any 1985. Ha exercit com a assessora, com a advocada i com a magistrada de reforç del Jutjat Contenciós Administratiu durant dos anys judicials. Pertany a l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB, al Centre d'Estudis de Dret Ambiental de Tarragona (CEDAT), de la Universitat Rovira i Virgili (URV), a l'Observatori de Polítiques Ambientals i a grups d'investigació sobre gestió integrada de zones costaneres i canvi climàtic. Ha assessorat administracions públiques en matèria d'iniciatives legislatives, de problemàtiques procedimentals i d'aspectes relatius a la distribució de competències, a l'avaluació de l'impacte ambiental de projectes i a l'avaluació ambiental de plans i programes. Ha realitzat nombroses publicacions i conferències i ha organitzat cursos sobre els diferents subsectors i instruments ambientals, concretament sobre el paper de les diverses administracions públiques en l'elaboració i l'aplicació. Actualment és membre de la Comissió Jurídica Assessora de la Generalitat de Catalunya i del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya.

Mar Campins Eritja és doctora en dret per la Universitat de Barcelona i professora titular i a l'Ame-

rican University (acreditada al cos de catedràtics per ANECA i AQU) de dret internacional públic (dret comunitari europeu) de la Facultat de Dret de la Universitat de Barcelona (UB). Ha centrat l'activitat investigadora en l'anàlisi de diversos aspectes del dret comunitari europeu i del dret ambiental internacional i europeu. En aquests àmbits ha publicat diverses monografies i articles, ha dirigit seminaris i ha coordinat projectes competitius de recerca. És membre d'un grup de recerca consolidat de la Generalitat de Catalunya i investigadora de l'Institut de l'Aigua (UB), del CEDAT (URV) i del Centre de Recerca en Dret Públic de la Universitat de Montreal. Ha realitzat diverses estades com a professora convidada a la Universitat de Puerto Rico, a la Universitat Nova Southeastern, a la Universitat de Dalhousie, a la Universitat d'Ottawa, a la Universitat de Montreal. En l'àmbit de la gestió universitària, ha estat vicedegana de la Facultat de Dret, adjunta al vicerector de Política Internacional i vicerectora de Política Internacional de la UB. Actualment és vicedegana de la Facultat de Dret.

Juan Emilio Nieto Moreno és doctor en dret i professor associat de dret administratiu de la UAB. Ha estat investigador de l'Institut de Dret i Tecnologia (UAB) i actualment està adscrit a l'Institut d'Estudis Europeus (UAB). Ha estat vinculat professionalment al dret ambiental des de l'any 1997, interessat per

diversos sectors, especialment el de l'avaluació ambiental de plans, programes i projectes. Va dedicar la tesi doctoral a l'avaluació ambiental de plans i programes. És autor de diverses publicacions i conferències, i participa com a docent en nombrosos cursos sobre diversos temes ambientals. Ha participat en

projectes d'investigació europeus i nacionals, i ha assessorat professionalment la Generalitat de Catalunya i diverses administracions locals catalanes. És membre, entre altres institucions, de l'Observatori de Polítiques Ambientals.

Sumari

Síntesi	600
25.1. Introducció	601
25.2. Els antecedents de l'Acord de París.....	601
25.2.1. L'Acord de París des d'una perspectiva jurídica.....	602
25.2.2. Els efectes de l'Acord de París.....	604
25.2.2.1. La incidència de l'Acord de París en l'ordenament jurídic de la Unió Europea	605
25.2.2.2. La incidència de l'Acord de París en l'actuació de l'Estat envers el canvi climàtic	606
25.2.2.3. Les conseqüències jurídiques per a Catalunya.....	607
25.2.3. Catalunya davant dels nous reptes que planteja l'Acord de París	608
25.2.3.1. La regulació mitjançant una norma amb rang de llei	610
25.2.3.2. Els objectius de mitigació i d'adaptació i el seguiment	610
25.2.3.3. Aspectes organitzatius i assignació de responsabilitats	611
25.2.3.4. La planificació i la programació.....	611
25.2.3.5. La rellevància dels aspectes relacionats amb el compliment de la llei projectada	612
Referències bibliogràfiques	612

Síntesi

La 21a sessió de la Conferència de les Parts del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (COP21) i l'11a Reunió de les Parts del Protocol de Kyoto (COP-MOP11) van adoptar, el 12 de desembre del 2015, l'Acord de París i la Decisió que l'aprova i l'acompanya. Amb relació al seu antecessor, el Protocol de Kyoto, l'Acord de París és un instrument més flexible que integra més parts, que abasta un volum més gran d'emissions i que proposa una arquitectura institucional

més lleugera. Aquest capítol analitza els elements essencials i les implicacions jurídiques de l'Acord de París fonamentalment des del punt de vista de Catalunya. Pel que fa a les diverses iniciatives i actuacions públiques que actualment es duen a terme en matèria de canvi climàtic, l'anàlisi se centra d'una manera especial en el Projecte de llei que s'està tramitant al Parlament de Catalunya i es posa èmfasi en les potencialitats per a fer cara als reptes que es desprenen d'aquest nou marc jurídic internacional.

25.1. Introducció

El 12 de desembre del 2015, la Conferència de les Parts del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (COP21) i la Reunió de les Parts del Protocol de Kyoto (COP-MOP11) van adoptar l'anomenat *Acord de París*, que ha de marcar el full de ruta de la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic durant els propers anys. Aquest epíleg té com a objectiu descriure breument el procés de negociació internacional previ a l'assoliment d'aquest acord, a partir del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, però, sobretot, descriure i analitzar, des de la perspectiva del dret internacional, l'Acord de París i els efectes que comporta.

Atès que l'equip que signa aquest epíleg ja va fer una anàlisi exhaustiva de la política internacional de canvi climàtic en les dues edicions anteriors d'aquest INFORME, publicades el 2005 i el 2010, respectivament, es remet els lectors a aquestes dues obres i es focalitza el text en el procés posterior a la publicació del *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (SICCC). D'altra banda, tot i que el títol remarca la perspectiva internacional de l'epíleg, en les pàgines següents també s'han incorporat referències a l'àmbit europeu, estatal i català.

25.2. Els antecedents de l'Acord de París

El Conveni marc (1992) i el Protocol de Kyoto (1997) constitueixen la resposta de la comunitat internacional al fenomen del canvi climàtic. Mitjançant aquests dos instruments, els estats van establir un objectiu a llarg termini: estabilitzar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) per prevenir interferències perilloses amb el sistema climàtic. Per a aconseguir aquest objectiu, el Conveni marc i el Protocol estableixen, pel que fa als països desenvolupats, l'obligació d'adoptar mesures de mitigació que limitin les emissions de GEH i disminueixin la petjada de carboni. Així mateix, es considera essencial que els països en desenvolupament s'adaptin al canvi climàtic per mitjà de la reducció de la vulnerabilitat dels ecosistemes i l'augment de la resiliència per a fer cara als impactes negatius.

L'article 9 del Protocol, en vigor des de l'any 2005, ja preveia la revisió i la negociació del contingut

per part de la Conferència de les Parts (COP). El primer examen s'havia de produir a partir de la segona Conferència de les Parts en qualitat de Reunió de les Parts al Protocol (COP-MOP). Igualment, l'article 3 disposava que la renovació dels compromisos de les parts incloses en l'annex I del mateix Protocol a partir de l'any 2013 s'hauria de començar a considerar, «com a mínim, set anys abans del final del primer període de compromís (2008-2012)». Per tant, en el moment en què va entrar en vigor es va posar en marxa el procés de revisió dels compromisos de reducció de les emissions de GEH.

Des d'aleshores s'ha seguit un procés llarg de negociació, sovint marcat per la manca de suport i de confiança de les parts, que s'ha desenvolupat en dues vies paral·leles. D'una banda, per mitjà de l'establiment del diàleg sobre l'acció cooperativa a llarg termini en el marc del Conveni marc (FCCC/CP/2005/5/Add.1), que tenia com a objectiu proposar mesures per al desenvolupament futur del conveni. Aquest diàleg va finalitzar a la COP13, a Bali, amb l'adopció del Pla d'Acció de Bali i la transformació en el Grup de Treball Especial sobre la Cooperació a Llarg Termini en el Marc del Conveni (AWG-LTC; FCCC/CP/2007/6/Add.1). L'altra via va consistir en la creació d'un grup de treball encarregat d'examinar els nous compromisos dels països desenvolupats a partir del 2012 en el marc del Protocol (AWG-KP; FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.1).

L'establiment d'una data màxima per a la conclusió de les dues vies de negociació, fixada per al 2009 (FCCC/CP/2007/6/Add.1), va crear expectatives enormes respecte a la possible adopció d'un acord a la COP15, que s'havia de celebrar aquell mateix any a Copenhaguen. No obstant això, en aquella COP no es va avançar en cap dels dos grups de treball especials (FCCC/KP/CMP/2009/21/Add.1); ans al contrari, es van reflectir clarament les tensions existents i es va anunciar un tomb important en el desenvolupament de les negociacions sobre el règim multilateral del canvi climàtic.

El 2010 els Acords de Cancún, a més d'incorporar els compromisos de l'Acord de Copenhaguen en una decisió oficial de la COP16 (FCCC/KP/CMP/2010/12/Add.1), van posar a l'agenda noves

accions dels països desenvolupats i dels països en desenvolupament per a reduir les emissions i establir un marc per a evitar la desforestació. D'altra banda, a la COP16 es van produir dos avenços importants des del punt de vista institucional: l'establiment del Fons Climàtic Verd, per a donar suport als països en desenvolupament en la lluita contra el canvi climàtic, i l'establiment d'un marc d'adaptació i d'una xarxa tecnològica per a donar suport a l'ús de tecnologies baixes en carboni.

La COP17, celebrada a Durban el 2011, va acordar l'establiment del Grup de Treball Especial sobre la Plataforma de Durban per a una Acció Reforçada (ADP), amb el qual es van articular dues línies de treball noves. La primera va consistir a exigir un nou procés dirigit a la negociació d'un protocol, d'un altre tipus d'instrument jurídic o d'una conclusió acordada amb força legal, en el marc de la COP, que fos aplicable a totes les parts. Aquest instrument s'hauria d'adoptar l'any 2015 i entraria en vigor a partir del 2020.

D'altra banda, a Durban es va establir un pla de treball per a incrementar el grau d'ambició de les iniciatives de mitigació adoptades per les diverses parts. L'any següent, en el marc del Portal Climàtic de Doha, es va formalitzar l'acord respecte al segon període de compromís (2013-2020), fet que va requerir l'adopció d'una esmena al Protocol de Kyoto (FCCC/KP/CMP/2012/13/Add.1) que encara no ha entrat en vigor. Finalment, les conferències de les parts celebrades a Varsòvia i a Lima (COP19 i COP20, respectivament) van permetre intensificar els preparatius de les parts per adoptar un protocol o un altre instrument vinculant jurídicament l'any 2015 (FCCC/CP/2014/10/Add.1).

25.2.1. L'Acord de París des d'una perspectiva jurídica

El Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic i el Protocol de Kyoto han generat efectes positius indiscutibles. Ara bé, també han fet palesa la dificultat del dret internacional per a abordar d'una manera eficaç el repte doble de la mitigació i l'adaptació al canvi climàtic. Aquest és el desafiament principal a què feien cara la COP21 i la COP-MOP11, que es van celebrar el desembre del 2015 a París.

Segons l'Acord de París i la Decisió de la COP21 que l'aprova i l'acompanya (FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1), l'objectiu principal que cal assolir en aquesta nova etapa és mantenir l'augment de la temperatura mitjana mundial molt per sota dels 2 °C respecte als nivells preindustrials i continuar amb els esforços per a limitar aquest augment als 1,5 °C (article 2.a). L'article 4, lluny de les expectatives de descarbonització que s'havien posat sobre la taula inicialment, es limita a assenyalar que les emissions totals haurien d'arribar al punt màxim tan aviat com fos possible i davallar ràpidament a partir d'aleshores per tal d'aspirar a un equilibri entre les fonts i els embornals de GEH en algun moment després del 2050.¹

El compliment de l'objectiu de limitar l'augment de la temperatura mitjana mundial per sota de 2 °C respecte als nivells preindustrials exigeix una gran implicació dels estats, cosa que significa que el règim climàtic futur ha de ser més inclusiu i que totes les parts, siguin països industrialitzats o països en desenvolupament, han d'assumir, amb diferent intensitat, el compromís de reduir les emissions.

Això explica que a l'Acord de París s'hagi eliminat la distinció entre els estats de l'annex I i els que no ho són, així com la flexibilització del criteri de la diferenciació, mitjançant una graduació i una vinculació mútua entre aquests dos grups de països, respecte als esforços que han de fer en la lluita contra el canvi climàtic. D'aquesta manera, s'ha reconduït l'oposició d'alguns estats i, molt especialment, s'ha facilitat la participació en l'acord dels Estats Units d'Amèrica, el Canadà, el Japó, la Federació Russa i els països del grup BASIC (el Brasil, Sud-àfrica, l'Índia i la Xina), que han abandonat les reticències i s'han afegit al consens general.

1. Simultàniament, es reconeix l'existència de comunitats particularment vulnerables als efectes adversos del canvi climàtic, així com «les necessitats específiques i les situacions especials» de certs estats. De fet, el preàmbul de l'Acord vincula l'acció contra el canvi climàtic a les exigències de justícia climàtica i fa una referència especial, amb un caràcter declaratori, «als drets humans, el dret a la salut, els drets dels pobles indígenes, les comunitats locals, els migrants, els nens, les persones amb discapacitat i les persones en situacions de vulnerabilitat i el dret al desenvolupament, així com la igualtat de gènere, l'apoderament de la dona i l'equitat intergeneracional».

També va caldre fer cara al desafiament d'incorporar en aquest procés altres actors no estatals que reclamen des de fa temps senyals clars de l'existència d'una voluntat política que els empenyi a mobilitzar-se. En aquesta línia, la Decisió de la COP reconeix els esforços de la societat civil, el sector privat, les institucions financeres, les ciutats i altres autoritats subestatal per a oposar-se al canvi climàtic i adoptar mesures, i els insta a donar suport a les que siguin aprovades per les parts amb vista a reduir les emissions, a augmentar la resiliència i/o a disminuir la vulnerabilitat als efectes adversos del canvi climàtic.²

No obstant això, aquesta aplicació més àmplia s'ha obtingut a un cost força alt: un augment substancial de la flexibilitat pel que fa al caràcter obligatori de l'acord i de les obligacions que conté. El repte d'adoptar un instrument vinculant jurídicament, universal i diferenciat només s'ha resolt a mitges, en la mesura que, tot i tractar-se d'un acord multilateral i, per tant, d'un instrument que formalment vincula jurídicament les parts, l'Acord de París conté elements importants que no tenen caràcter obligatori, entre els quals destaca un aspecte tan essencial com ara l'establiment d'objectius de reducció d'emissions individuals per a les parts.

Així, doncs, l'Acord de París no inclou objectius nacionals individualitzats de caràcter obligatori per a les parts, a diferència del que va succeir en el cas del Protocol de Kyoto. El gir que ja es va introduir a la COP15 (Copenhagen) ara es reflecteix en la introducció d'un canvi essencial respecte a l'arquitectura prèvia del Protocol, que es basava en una planificació centralitzada i descendent dels objectius i de les accions que calia portar a terme i que fixava un objectiu quantitatiu de mitigació a escala global que es distribuïa entre les parts, les quals l'havien d'assumir obligatòriament (*top-down approach*).

Amb l'Acord de París, aquest plantejament ha estat substituït per un sistema molt més descentralitzat i amb un caràcter ascendent, en el qual les parts assumeixen unilateralment compromisos de mitigació individuals (coneguts com a *contribucions previstes determinades nacionalment*, INDC)

d'acord amb les circumstàncies i les prioritats nacionals (*bottom-up approach*). En aquest sistema, les parts únicament han de demostrar que el compromís de reducció de les emissions que proposen i que assumeixen constitueix una contribució justa a l'esforç global de mitigació, una valoració que s'acompanya d'un procés d'avaluació i de revisió tècnica independent cada cinc anys.

En definitiva, l'Acord inclou en un mateix sac les contribucions nacionals de totes les parts, independentment de si es tracta de països desenvolupats o en desenvolupament, del contingut substantiu (excloent-ne els sectors de l'aviació i la navegació, que queden fora de l'Acord) o dels terminis que fixen (incloent-hi l'any de referència), i deixa un marge considerable als estats per a determinar com i on duen a terme aquestes reduccions. L'única exigència és que les INDC que les parts comuniquin successivament han de representar una millora respecte a la contribució vigent i mostrar un nivell molt elevat d'ambició, tenint en compte les responsabilitats comunes però diferenciades i les capacitats a escala estatal (article 4.3).

El debat sobre el caràcter vinculant o no de les obligacions que es deriven del nou model ascendent i, molt particularment, d'aquesta clàusula «de no-retrocés» establerta per l'article 4.3 es relaciona íntimament amb les qüestions de transparència i de compliment de l'Acord. Tot i que el contingut dels compromisos de reducció és voluntari, l'Acord estableix un conjunt de requisits procedimentals, de caràcter vinculant, que tenen com a finalitat promoure'n la transparència, com ara la presentació d'informes sobre la formulació dels compromisos de reducció i d'adaptació o el seguiment, la revisió i la verificació de l'aplicació. Aquesta opció representa una solució de compromís no del tot satisfactòria, ja que d'una banda estableix un «marc de transparència reforçat» (article 13), mentre que de l'altra preveu la creació d'un «mecanisme per a facilitar l'aplicació i promoure el compliment» de les disposicions de l'Acord de «caràcter facilitador, que funcionarà d'una manera transparent, no contenciosa i no punitiva» (article 15).

D'altra banda, i per primera vegada en les negociacions sobre el canvi climàtic, les qüestions relatives a l'adaptació han tingut una importància

2. Vegeu especialment els paràgrafs 118-120 i 134-136 d'aquesta Decisió (FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1).

similar a la que tradicionalment tenen els aspectes vinculats a la mitigació. Segurament, això es deu al fet que molts dels INDC comunicats pels estats incloïen els objectius i les prioritats d'adaptació juntament amb els objectius de reducció de les emissions. En aquest àmbit, al qual cal fer cara des de les dimensions local, subestatal, estatal i internacional, l'Acord persegueix l'objectiu global de millorar la capacitat d'adaptació, enfortir la resiliència i reduir la vulnerabilitat al canvi climàtic per a contribuir al desenvolupament sostenible i assegurar una resposta adequada per a assolir l'objectiu de limitació de la temperatura. D'aquesta manera, l'Acord vincula explícitament l'adaptació i la mitigació i encoratja les parts a informar d'aquestes accions també en períodes de cinc anys, però utilitza una redacció molt genèrica per a referir-se a la planificació i la implementació de les mesures d'adaptació.

Pel que fa a l'assistència financera, els països desenvolupats han adoptat l'objectiu —no obligatori— d'augmentar el nivell del suport financer mitjançant un full de ruta que permeti mobilitzar conjuntament, fins al 2020, 100.000 milions de dòlars anuals per a la mitigació i l'adaptació als països en via de desenvolupament conforme a l'apartat 115 de la Decisió. Ara bé, l'article 9.3 de l'Acord disposa, simplement, que els països desenvolupats haurien de continuar encapçalant els esforços per a mobilitzar finançament i que cada dos anys han de comunicar el suport financer tant pel que fa a la qualitat com pel que fa a la quantitat.

Un altre aspecte rellevant és el mecanisme internacional de Varsòvia per a les pèrdues i els danys relacionats amb les repercussions del canvi climàtic, un instrument destinat a minimitzar els danys i les pèrdues ocasionades tant pels fenòmens meteorològics extrems com pels fenòmens climàtics d'evolució lenta. Aquest mecanisme, que finalment s'ha separat de les disposicions relatives a l'adaptació, s'ha d'entendre com un compromís entre les parts, les quals tenen visions divergents: d'una banda, s'incorpora a l'article 8 de l'Acord; de l'altra, i continuant amb el que estableix el paràgraf 52 de la Decisió de la COP, se n'exclouen les qüestions relacionades amb la responsabilitat internacional o la indemnització.

Per assolir els objectius de l'Acord, el text manté els enfocaments cooperatius, és a dir, dóna continuïtat als mercats de carboni o de drets d'emissió. Tot i que en algun moment de les negociacions va semblar que desapareixerien, finalment l'Acord els recupera a l'article 6, però amb un marc jurídic totalment diferent, en el qual els estats decideixen unilateralment els compromisos de reducció que assumeixen i no hi ha cap límit màxim d'emissions, fet que planteja nous reptes per al funcionament d'aquest tipus de mecanismes. D'entrada, l'article 6 estableix que les parts participin voluntàriament en «enfocaments cooperatius que comportin l'ús de resultats de mitigació de transferència internacional per a complir amb les contribucions previstes determinades nacionalment». A més, l'Acord estableix un mecanisme per a facilitar les transaccions entre els països venedors i els països compradors, que presumiblement reemplaçarà el mecanisme de desenvolupament net previst al Protocol de Kyoto.

Tanmateix, encara resta una tasca ingent per als propers anys: desenvolupar les modalitats i els procediments recollits a l'Acord, posar en marxa les institucions i els mecanismes que s'hi preveuen, assegurar el suport financer als països en desenvolupament i, molt especialment, articular el règim de transparència i assolir el nombre de signatures necessàries per a l'entrada en vigor.

25.2.2. Els efectes de l'Acord de París

La Conferència de París es pot considerar un èxit si es té en compte que és la cimera sobre el clima que ha reunit més caps d'estat i de govern i delegats (28.000), els quals van expressar, durant unes negociacions marcades pel *savoir faire* de la diplomàcia francesa, un esperit de cooperació notable i la voluntat ferma d'arribar a un acord.

En aquest ambient d'eufòria, l'Acord de París i la Decisió de la COP21 constitueixen un punt d'inflexió en els esforços de la comunitat internacional per a fer cara al canvi climàtic. Amb relació a l'Acord, els reptes més importants que s'obren a partir d'ara per a la comunitat internacional són, d'una banda, la ratificació i l'entrada en vigor i, de l'altra, la transició del model descendent (*top-down*) propi del Protocol de Kyoto cap al sistema ascendent (*bottom-up*) que ha de permetre deter-

minar els compromisos de reducció de les emissions de GEH.

Pel que fa a la ratificació, l'Acord es va obrir per a la signatura el 22 d'abril del 2016 (estarà obert durant el període d'un any), i hauria d'entrar en vigor l'any 2020, sempre que cinquanta-cinc parts les emissions de les quals representin el 55 % de les totals hagin dipositat els instruments de ratificació, acceptació, aprovació o adhesió (com estableix l'article 21). Es requereix, per tant, que com a mínim sigui ratificat pels Estats Units d'Amèrica, la Unió Europea, la Federació Russa, la Xina i l'Índia.

D'altra banda, els estats part han de fer els primers passos per a preparar les INDC i dur-ne a terme la primera revisió el 2018. Les INDC constitueixen, com hem comentat, l'element clau del nou sistema. Fins ara, cent seixanta de les cent noranta-sis parts del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic havien presentat els compromisos per al període post-2020,³ cosa que representa prop del 99 % de les emissions globals de GEH.

Com hem apuntat, l'Acord adopta l'objectiu general de limitar l'augment de la temperatura a 2 °C respecte als nivells preindustrials (i, si es pot, a 1,5 °C). És important destacar, però, que al costat d'aquest objectiu incorpora els conceptes *punt màxim de les emissions màximes* i *equilibri entre les fonts i els embornals de GEH*. Aquests dos elements indiquen que l'era dels combustibles fòssils arriba al final i que cal avançar en nou model de desenvolupament sostenible.

Cal tenir present, però, que l'apartat 17 de la Decisió de la COP reconeix que les INDC que fins ara han estat presentades per les parts abans de la cimera de París no permeten assolir l'objectiu dels 2 °C, sinó que apunten clarament cap a un augment de la temperatura mitjana de 3,5 °C per sobre dels nivells preindustrials per a l'any 2100. Per tant, caldrà promoure'n la revisió per tal d'augmentar-ne el nivell d'ambició abans del 2023 i, fins

i tot, del 2018, quan les parts hauran de negociar per a avaluar els esforços col·lectius. Així mateix, l'any 2020 les parts hauran de comunicar les estratègies de reducció de les emissions de GEH a llarg termini, una bona oportunitat per a augmentar el grau d'ambició dels estats abans de l'entrada en vigor de l'Acord.

25.2.2.1. La incidència de l'Acord de París en l'ordenament jurídic de la Unió Europea

La Unió Europea (UE) va iniciar aquest procés el 2015, amb una proposta legislativa per a reformar el sistema de comerç d'emissions de la UE i reduir en un 2,2 % anual el nombre de drets d'emissió entre el 2021 i el 2030 [COM(2015) 337 final]. Properament, la Comissió Europea ha de presentar una proposta per a reduir les emissions als sectors no coberts pel sistema de comerç d'emissions de la UE (European Commission, 2015). En tot cas, la INDC presentada el març del 2015 per la UE preveu, per a l'any 2030, una reducció del 40 % de les emissions respecte de les emissions de l'any 1990.⁴ Aquesta fita és coherent amb el compromís de la UE de reduir les emissions en el 80-95 % l'any 2050 (en comparació de les emissions d'aquest mateix any).

Per assolir l'objectiu de reducció per al 2030, la UE s'ha compromès a reduir en un 43 % les emissions dels sectors coberts pel sistema europeu de comerç d'emissions i en un 30 % les de la resta de sectors (ambdós objectius prenen com a referència els nivells d'emissió de l'any 2005). L'assoliment d'aquests compromisos en l'àmbit global de la UE requerirà l'establiment d'objectius vinculants per a cadascun dels estats membres (Decisió UE 2015/1814, del 6 d'octubre del 2015).

En aquest punt, cal recordar que la UE s'ha compromès formalment amb l'Esmena de Doha, relativa al segon període de compromís del Protocol de Kyoto (2013-2020), mitjançant dues decisions adoptades pel Consell de la UE el 26 de gener i el 13 de juliol del 2015 (la Decisió 2015/146 i la Decisió 2015/1339, respectivament), en les quals es fixa el límit mitjà anual d'emissions de GEH per

3. Les INDC són disponibles en línia al web de la Secretaria del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (<http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Submission%20Pages/submissions.aspx>).

4. La INDC de la UE i els estats membres, del 6 de març del 2015, es pot consultar en línia a: http://ec.europa.eu/clima/news/docs/2015030601_eu_indc_en.pdf.

al període 2013-2020 en el 80 % de les emissions de l'any 1990. Respecte a l'abast d'aquest compromís, el Consell va decidir, el 2012, que s'havia d'adoptar partint del total d'emissions acordat en el marc del paquet legislatiu d'energia i clima, en el qual es reflectia el compromís unilateral de la UE de reduir les emissions en un 20 % per sota dels nivells del 1990 amb vista al 2020. En el cas d'Espanya, el Consell de Ministres va ratificar l'Esmena el juliol del 2015, una decisió que es va traslladar a les Corts Generals a proposta del Ministeri d'Afers Exteriors i de Cooperació.

25.2.2.2. La incidència de l'Acord de París en l'actuació de l'Estat envers el canvi climàtic

De tot el que hem assenyalat fins ara, és evident que les coordenades dins de les quals s'ha de desenvolupar l'activitat de les administracions públiques catalanes són fixades pel nou escenari generat pels resultats de la COP21 de París i, òbviament, per les iniciatives impulsades —o que han de ser impulsades— per la UE que s'acaben d'exposar. Nogensmenys, juntament amb aquest canvi del context internacional és convenient tenir en compte un altre element amb capacitat d'incidir en la formulació i el desenvolupament de les polítiques catalanes respecte al canvi climàtic: el paper de l'Administració de l'Estat, que disposa de les competències ambientals i sectorials assignades a l'article 149 de la Constitució (Campins *et al.*, 2010).

D'aquesta manera, cal assenyalar molt sintèticament que, d'acord amb els compromisos contrets per l'Estat en l'àmbit del dret internacional,⁵ i tenint en compte la gran incidència en aquest àmbit de l'actuació de la UE, l'Estat porta a terme una sèrie d'accions que, com ja es reflectia al SICCC, es van intensificar progressivament a partir de l'any 2006. Aquestes accions presenten diverses vessants: l'organització administrativa (Pont *et al.*, 2010;

5. L'Estat espanyol va signar el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic el 13 de juny del 1992 a Rio de Janeiro, i el va ratificar el 21 de desembre del 1993. Va esdevenir estat part mitjançant la ratificació del Protocol de Kyoto el 31 de maig del 2002. Posteriorment, el 24 de juliol del 2015, el Govern espanyol va aprovar la ratificació de l'Esmena de Doha al Protocol de Kyoto (relativa al segon període de compromís, 2013-2020). Tampoc no es pot oblidar que l'any 2015 la Comissió Europea, juntament amb els estats membres, va presentar les INDC per al període post-2020.

Pont *et al.*, 2012),⁶ l'activitat normativa, la formulació d'estratègies, plans i programes, i les accions d'execució. Les línies fonamentals que marquen l'activitat de l'Estat envers el canvi climàtic són, d'una manera sintètica, les següents:

- L'activitat normativa ha estat (i està) essencialment relacionada amb la necessitat d'incorporar a l'ordenament jurídic intern les diverses directives adoptades successivament per la UE, amb una incidència especial a tot el que fa referència al comerç d'emissions. En aquest sentit, cal destacar l'aprovació de la Llei 1/2005, del 9 de març, per la qual es regula el règim del comerç de drets d'emissió de GEH.⁷
- Pel que fa a l'activitat programadora i planificadora, cal destacar, per l'abast que té, l'Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta (EECCCEL), horitzó 2007-2012-2020, que va establir mesures per a onze àrees temàtiques diferents, incloent-hi la cooperació institucional, els mecanismes de flexibilitat, la cooperació internacional i la cooperació amb països en desenvolupament, el comerç de drets d'emissió, la captura i l'emmagatzematge de CO₂, i l'adapta-

6. Les competències en aquesta matèria són exercides, fonamentalment, pel ministeri amb competències sobre medi ambient —avui, el Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient—, amb un protagonisme destacable de l'Oficina Espanyola de Canvi Climàtic (actualment adscrita a aquest Ministeri). S'ha creat, també, una multitud d'òrgans col·legiats de caràcter interdepartamental, entre els quals cal destacar el Consell Nacional del Clima (creat per mitjà del Reial decret 177/1998, del 16 de febrer, que després va ser substituït pel Reial decret 1188/2001, del 2 de novembre, i regulat per mitjà del Reial decret 415/2014, del 6 de juny), la Comissió de Coordinació de Polítiques de Canvi Climàtic (creada per mitjà de la Llei 1/2005, del 9 de març, i regulada per mitjà del Reial decret 1823/2011, del 21 de desembre) i la Comissió Interministerial per al Canvi Climàtic (Reial decret 1886/2011, del 30 de desembre).

7. El règim jurídic que va establir originàriament aquesta norma es va modificar amb profunditat posteriorment. A banda de la incorporació d'algunes obligacions d'informació aplicables als nous sectors i als operadors d'aeronaus (introduïdes per mitjà de la disposició addicional segona de la Llei 5/2009, del 29 de juny), destaca la reforma introduïda en la Llei 1/2005, del 9 de març, mitjançant la Llei 13/2010, del 5 de juliol, aprovada per a perfeccionar i ampliar el règim general de comerç de drets d'emissió i incloure-hi l'aviació. La Llei 1/2005, del 9 de març, també va ser modificada per la Llei 11/2012, del 19 de desembre, de mesures urgents en matèria de medi ambient. Tot i que en aquest epíleg no es pot fer una exposició detallada de tota l'activitat normativa de l'Estat en aquest àmbit, cal esmentar la Llei 40/2010, del 29 de desembre, d'emmagatzematge geològic de diòxid de carboni.

ció al canvi climàtic. L'EECCCEL s'ha desenvolupat per mitjà de diversos plans, com ara el Pla de Mesures Urgents de la mateixa estratègia, plans d'acció d'estalvi i eficiència energètica i el Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic.

- Finalment, i des de la publicació del SICCC, s'observa un increment notable de les actuacions transversals, fonamentalment amb relació al binomi energia / canvi climàtic, així com una profusió notable d'actuacions relacionades amb el transport i la mobilitat, incloent-hi, per exemple, estratègies sobre el foment dels vehicles elèctrics (Pont *et al.*, 2012).

En definitiva, i a l'efecte d'aquest epíleg, cal retenir dues circumstàncies fonamentals: les competències de l'Estat, amb la possibilitat de perfilar d'una manera més o menys intensa la regulació de diverses matèries, que directament incideix en l'actuació de les comunitats autònomes per mitjà de l'adopció de la legislació bàsica; i també l'exercici efectiu d'aquestes competències, fonamentalment pel que fa a la vessant normativa, que fins ara hom pot constatar que es vincula d'una manera molt directa a la necessitat d'incorporar al dret intern les exigències derivades de les normes (directives) de la UE.⁸ Caldrà, per tant, restar atents a les iniciatives que impulsi els propers anys, a la preparació i al compliment, entre d'altres, dels compromisos que adopti la UE tant per al període 2013-2020 com per al període posterior a aquell moment, quan previsiblement entrarà en vigor l'acord adoptat a París.

25.2.2.3. *Les conseqüències jurídiques per a Catalunya*

Un cop exposat el context dels àmbits internacional, europeu i estatal, a continuació cal referir-se a les conseqüències que se'n deriven per a Catalunya. En aquest sentit, cal exposar molt breument l'actuació dels poders públics catalans en matèria de canvi climàtic en els darrers anys i la previsió per al futur. Per a fer-ho, cal recordar, encara que sigui molt succintament, el marc competencial en

8. Això pot implicar, tal com s'assenyala posteriorment, que l'actuació dels poders públics catalans amb relació a aspectes determinats de la matèria del canvi climàtic pugui ser afectada molt directament per les decisions adoptades per l'Estat, concretament en el cas del règim de comerç de drets d'emissió (vegeu OCCO, 2015, p. 8-9).

el qual es desenvolupa aquesta actuació (Pont *et al.*, 2010) i subratllar que ja des de l'Estatut d'autonomia de Catalunya de l'any 1979 i, fonamentalment, a partir de l'Estatut del 2006, la Generalitat gaudeix de prou competències per a desenvolupar una política pròpia sobre aquesta matèria que s'ha d'emmarcar en l'àmbit que s'hagi pogut fixar amb les normes mencionades. Aquest marc competencial empara sense problemes una política pròpia que es pot adequar a les característiques internes dels diversos sectors implicats a Catalunya.

En aquest sentit, es constata que la Generalitat de Catalunya ja ha dut a terme, en l'exercici de les competències, una multiplicitat d'actuacions en els àmbits normatiu (amb l'aprovació de normes amb rang de llei⁹ o de caràcter reglamentari¹⁰), planificador, programàtic, d'execució i d'organització administrativa. Cal subratllar que l'activitat de l'Administració catalana d'aquests darrers temps s'ha circumscrit especialment a la planificació i la programació. En aquest sentit, i confirmant el que assenyalàvem en les edicions anteriors d'aquest INFORME, és palès que ha optat per adoptar plans, programes i estratègies que tracten des de diferents perspectives la matèria relacionada amb el canvi climàtic. Tot i que no són l'objectiu central d'aquest epíleg i que ja s'han tractat en capítols anteriors d'aquest mateix INFORME, cal tornar a esmentar, per la importància que tenen, el Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic 2008-2012 i el Pla d'Energia i Canvi Climàtic 2020 (amb diversos plans i estratègies vinculats, com ara l'Estratègia Catalana per a la Renovació Energètica dels Edifi-

9. La matèria relacionada amb el canvi climàtic fins ara ha estat tractada per mitjà de lleis de caràcter sectorial, tal com ja es va assenyalar al SICCC. A banda de les lleis sectorials mencionades en aquesta publicació, cal esmentar addicionalment, pel caràcter transversal, la Llei 6/2009, del 28 d'abril, d'avaluació ambiental de plans i programes, la Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats, i el Decret legislatiu 1/2010, del 3 d'agost, pel qual s'aprova el text refós de la Llei d'urbanisme (amb les modificacions introduïdes per la Llei 3/2012, del 22 de febrer).

10. En aquest punt, cal destacar el Decret 397/2006, del 17 d'octubre, sobre el comerç de drets d'emissió de GEH. També hi ha altres normes de menys abast que, des del punt de vista sectorial, incideixen en la nostra matèria, com ara l'Ordre AAM/79/2013, del 6 de maig, sobre el règim d'obtenció de la qualificació d'orientació energètica dels aprofitaments forestals en l'àmbit de Catalunya i d'establiment de la garantia de la traçabilitat.

cis i el Pla d'Estalvi i Eficiència Energètica als Edificis i Equipaments de la Generalitat de Catalunya). Des del punt de vista de l'adaptació, es va aprovar l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic, horitzó 2013-2020.

En qualsevol cas, i amb una perspectiva de futur, cal destacar especialment el Projecte de Llei del canvi climàtic de Catalunya, aprovat pel Govern el 26 de gener del 2016 i en fase de tramitació parlamentària en el moment de lliurar aquest epíleg. Els trets més rellevants del contingut d'aquesta iniciativa normativa, segurament de les primeres a escala mundial després de l'aprovació de l'Acord de París, seran comentats a continuació, malgrat que cal advertir que la versió que s'analitza pot variar considerablement en el decurs de la tramitació. Per a emmarcar aquest Projecte de Llei, cal recordar que els darrers anys a Catalunya s'havia discutit la conveniència de disposar d'una norma pròpia amb rang de Llei que servís d'instrument vertebrador de la política pública sobre el canvi climàtic. Constituïa una iniciativa preconitzada per investigadors i empena decididament per qui ha liderat la política en aquesta matèria. Si bé és cert que han estat diversos els plans, les polítiques, els programes i les normes que des d'una perspectiva sectorial han abordat la qüestió del canvi climàtic fins avui, com hem pogut veure al paràgraf anterior, tot indica que disposar d'una norma que aglutini el suport necessari de les forces polítiques comporta entrar en una dimensió d'estabilitat i de seguretat jurídica molt més intensa i compromesa.

Sabem que França, el Regne Unit, Suècia, Escòcia (en l'àmbit europeu), Austràlia, Costa Rica, Guatemala, Hondures, Mèxic i el Quebec ja disposen de normes sectorials amb unes característiques similars. En qualsevol cas, som davant d'una iniciativa molt esperada, amb un període de gestació dins de l'executiu autonòmic especialment llarg, si el comparem amb altres processos legislatius, i per al qual s'ha disposat d'una quarantena de versions. El 24 de maig del 2012, el secretari de Medi Ambient i Sostenibilitat va signar la proposta d'acord del Govern per la qual s'aprovava la memòria prèvia a l'inici de la tramitació de l'Avantprojecte. Gairebé dos anys després, l'Avantprojecte de Llei va ser aprovat pel Govern el 6 de gener del 2016, a proposta del conseller de Territori i Sostenibilitat, i

se'n va poder autoritzar la presentació al Parlament (*Butlletí Oficial del Parlament de Catalunya*, 25 de febrer del 2016).

El text, que va ser objecte d'un procés participatiu ampli abans de l'aprovació i la tramesa posterior al Parlament, actualment és objecte de tramitació parlamentària i, per tant, les referències que s'aporten es localitzen en el text presentat inicialment al legislador català. Com a referència general, cal destacar que hom constata que aquest Projecte de Llei, més enllà d'integrar les prescripcions que es puguin considerar exigibles i derivables directament de la legislació europea, es vol configurar com un marc jurídic amb vocació d'estabilitat que es planteja un objectiu ambiciós però alhora imprescindible, com ara facilitar la transició cap a una societat més baixa en carboni. En aquest sentit, es vol que la norma sigui un motor de canvi i que els postulats s'acabin integrant en les polítiques i en la planificació sectorial.

25.2.3. Catalunya davant dels nous reptes que planteja l'Acord de París

En les pàgines anteriors s'han presentat, de manera resumida, les novetats més significatives en aquest àmbit des de la publicació del SICCC i s'ha analitzat la incidència a l'escenari que es construeix a Catalunya. Les dues innovacions més destacables, com hem vist, són l'Acord de París (i els efectes als àmbits europeu, estatal i català) i el Projecte de Llei del canvi climàtic de Catalunya.

L'Acord de París també és un acord per a Catalunya. Amb l'adopció d'aquest acord es consolida la línia d'actuació que es va iniciar formalment amb el Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic i que ja no qüestiona en cap cas l'existència de l'escalfament planetari. Cal insistir un cop més, a manera de recapitulació, que l'acord internacional conté fites que ajuden a entendre i a emmarcar la ruta que cal seguir a Catalunya i el ritme amb què els poders públics catalans han de treballar per a assolir-les, així com per a avaluar si tot el que es realitza avui va en el sentit i la velocitat exigibles.

Amb relació al seu antecessor, l'Acord de París, és un instrument més flexible, que integra més parts, que abasta un volum més gran d'emissions i que preveu una arquitectura institucional més lleugera.

També hi ha un canvi important en la determinació de les obligacions que assumeixen les parts, que ara, com hem dit, fixen els estats unilateralment i «des de baix». Els ens subestatsals poden contribuir a l'establiment. L'acord, a més, aplica fórmules coercitives diferents de les tradicionals, basades en la triada establiment d'obligacions/incompliment/responsabilitat. En el nou instrument, els mecanismes de control, que també hauran de ser presents a Catalunya, es basen en conceptes com ara la transparència, la reputació i l'opinió pública, uns aspectes que incideixen en les estratègies i les actuacions dels poders públics a Catalunya.

L'acord internacional inclou el compromís de mantenir l'increment de la temperatura mitjana de l'atmosfera per sota dels 2 °C respecte als nivells preindustrials, però reconeix que encara caldrà emprendre esforços addicionals perquè l'increment de la temperatura mitjana global no superi els 1,5 °C. Nogensmenys, a Catalunya —i també a l'Estat— cal parar una atenció especial i estar especialment preparat per a intensificar les actuacions públiques i els objectius que es volen establir. Hom no pot oblidar que ja s'ha posat en evidència, com hem dit, la paradoxa o la incoherència que els estats, en les decisions individuals relacionades amb l'acord internacional referit, fins avui únicament s'hagin compromès a emprendre actuacions que, si es materialitzessin en els termes exactes, podrien comportar un escalfament planetari de prop de 3 °C. Tot indica, per tant, que els esforços des de l'esfera pública i privada s'hauran d'accentuar.

Cal tenir present, d'altra banda, que encara cal completar alguns tràmits per tal que l'Acord de París es pugui aplicar efectivament: després de l'adopció a la seu de l'Organització de les Nacions Unides, el 22 d'abril del 2016, la signatura i la ratificació estaran obertes durant un any (el Govern espanyol va acordar la ratificació en el Consell de Ministres del 8 d'abril del 2016). Així mateix, és especialment important destacar que l'entrada en vigor no serà immediata, ja que requereix la ratificació expressa de cinquanta-cinc estats part del Conveni marc, responsables com a mínim del 55 % de les emissions globals. Si s'esdevenen aquestes circumstàncies condicionants, entrarà en vigor al cap de trenta dies. No obstant això, atès que no es preveu

que el contingut sigui efectiu fins a l'any 2020, cal parar atenció a les actuacions que es duen a terme actualment a Europa i a Catalunya i a les que es puguin impulsar en el futur.

En el camí que cal recórrer per a assolir els reptes esmentats, l'actuació de la UE és especialment rellevant per a les decisions que s'adoptin a Catalunya. Més enllà de la signatura i la ratificació de l'Acord de París, la UE ha de preparar l'estratègia de descarbonització a llarg termini (horitzó 2050) i analitzar les transformacions econòmiques i socials necessàries per a fer-la possible, les quals indefectiblement centraran i impulsaran el debat polític tan important que s'ha d'iniciar aviat. Evidentment, dos aspectes de política energètica en els quals la UE ja treballa però en els quals caldrà intensificar els esforços són l'impuls de l'eficiència i l'ús de fonts renovables d'energia. Per aquest motiu, caldrà tenir molt present el Marc sobre Clima i Energia per al 2030, acordat pel Consell Europeu el 2014 (amb l'objectiu intern d'assolir, com a mínim, un 40 % de reducció de les emissions de GEH per al 2030).

Els propers mesos seran especialment significatius i estimulants, i Catalunya ha d'estar ben atenta a les propostes normatives que la Comissió Europea presenti per a desenvolupar el nou Marc sobre Clima i Energia, per a poder repartir l'esforç entre els sectors que no cobreix el sistema de comerç d'emissions, incidir en aspectes com ara els usos del sòl i establir, entre d'altres, les bases del mecanisme de governança climàtica i energètica que regirà a partir del 2020. Però, en general, és ben clar que, davant del nou escenari internacional i europeu, els poders públics de Catalunya no haurien d'adoptar el paper d'espectador. Malgrat que el contingut de l'Acord de París no tingui prou intensitat ni precisió, ni ofereixi la seguretat jurídica i la garantia de seguiment uniforme que es podrien considerar convenientes i necessàries per a instruments jurídics d'aquest tipus, també cal reconèixer que, com que en la pràctica es basaran en els compromisos individuals dels signants i com que es pretén oferir la màxima transparència en la formulació i el seguiment, l'adopció és transcendent per, com a mínim, fidelitzar la implicació i mantenir la intensitat de l'activitat que ja duen a terme molts estats i altres entitats territorials pel que fa a l'escalfament

planetari. En el mateix Acord de París, com ja hem subratllat, no solament es reconeix la importància de les entitats que no constitueixen pròpiament un estat, sinó que s'incentiva l'adopció i l'execució de polítiques i d'actuacions climàtiques dissenyades i implementades des d'aquests àmbits territorials. En conclusió, amb el nou escenari es confirma i es reivindica, per tant, l'actuació de Catalunya en qualitat d'entitat subestatal (*subnational entity*). Però no solament des d'un punt de vista formal, perquè, si es té present que moltes de les competències en els sectors que incideixen en l'escalfament pertanyen i han de ser exercides per aquesta comunitat autònoma, cal prosseguir i intensificar la implicació directa en aquesta matèria.

Finalment, és necessari confirmar que els reptes dels propers anys per a Catalunya són, com a mínim, els que s'han adoptat a París, a més dels que hagi adoptat o pugui adoptar la UE (que caldrà transposar i executar convenientment). Es disposa d'instruments diversos que s'hauran d'anar adaptant necessàriament. En aquest context de base, cal valorar especialment la idoneïtat i els aspectes que brillen més intensament del Projecte de Llei del canvi climàtic de Catalunya, actualment en tramitació parlamentària.

25.2.3.1. La regulació mitjançant una norma amb rang de llei

L'anàlisi del que ha passat durant els darrers anys mostra que Catalunya ha anat incrementant el grau d'implicació en aquesta matèria, de manera que ja disposa de diversos instruments i normes que permetran remodelar l'organització administrativa interna per fer cara decididament als reptes existents en matèria de mitigació i d'adaptació al canvi climàtic.

Disposar d'una norma amb rang de llei que esdevingui l'eix vertebrador de les polítiques públiques de Catalunya en aquest àmbit i que assigni responsabilitats clares denota la maduresa i el compromís envers la matèria regulada, així com la voluntat d'oferir estabilitat en el temps pel que fa als aspectes que en requereixen més, els quals cal valorar d'una manera positiva. També cal entendre que l'existència d'una norma com aquesta concorda i encaixa amb els plantejaments que s'adopten a escala internacional i europea, i dóna visibilitat als objectius.

El Projecte de Llei fa aflorar l'existència de molts sectors emissors i potencialment afectats pel canvi climàtic, reconeix davant de la ciutadania la importància i la complexitat d'aquest fenomen i possibilita la introducció d'instruments que s'ha demostrat que són vàlids per a modificar conductes i que requereixen el rang de llei (noves figures tributàries). Són especialment remarcables la integració dels objectius de mitigació i d'adaptació al conjunt de les polítiques públiques sectorials i, per tant, l'avançament vers la internalització desitjada del canvi climàtic a la rutina diària dels diversos òrgans i ens públics que conformen la Generalitat de Catalunya i l'Administració local. Es tracta d'un dels reptes més engrescadors, tot i que en la pràctica és el més difícil d'assolir, tant a escala catalana com a escala estatal i europea.

El projecte normatiu explicita que l'aprovació significarà la consolidació de la feina feta en matèria de mitigació i d'adaptació en els darrers vint anys i, especialment, des de l'any 2005. No obstant això, els autors d'aquest capítol consideren que sobretot cal entendre'l com a instrument viu i com a motor de canvi. En aquest sentit, s'observa que el contingut dels articles reclama un desenvolupament reglamentari important i l'adaptació dels diversos instruments jurídics existents i actualment operatius en l'àmbit públic. Són actuacions necessàries sense les quals la llei perdria bona part del significat. Cal procedir a la preparació, l'actualització o la modificació en el temps que el Projecte de Llei proposa.

La flexibilitat que es desprèn del text del Projecte de Llei tramès al Parlament no ha de constituir cap obstacle perquè s'acabi configurant un règim jurídic cert i amb vocació d'estabilitat pel que fa als aspectes més estructurals. Per tot això, però, és necessari agilitzar el desenvolupament reglamentari dels articles que ho requereixin de seguida que la norma s'aprovi.

25.2.3.2. Els objectius de mitigació i d'adaptació i el seguiment

Com hem explicat anteriorment, els objectius de l'Acord de París i els que han estat fixats i decidits per la normativa europea en matèria de canvi climàtic també s'han d'entendre com a objectius per a Catalunya. En aquest context, cal verificar que el contingut del Projecte de Llei del canvi climàtic de

Catalunya sigui coherent amb aquests objectius, els incorpori com a propis, incrementi els valors que actualment proposa i, si escau, prevegi fórmules per a l'adaptació futura. També cal garantir que els instruments de planejament existents a Catalunya s'alineïn amb aquests objectius, els incorporin i els persegueixin. En aquest sentit, per exemple, és convenient recordar que el Marc sobre Clima i Energia acordat pel Consell Europeu l'any 2014 incloïa l'assoliment, com a mínim, d'una reducció del 40 % de les emissions de GEH per a l'any 2030. De la mateixa manera, no es pot menysprear la importància que l'Acord de París dona a l'increment de la intensitat dels compromisos amb objectius cada cop més ambiciosos.

En qualsevol cas, atès que tot indica que l'Acord de París serà clarament insuficient per a assolir els objectius de reducció de les emissions necessaris, qualsevol actuació addicional pot acabar sent molt útil, especialment per a zones com ara Catalunya, on l'escalfament s'ha incrementat per sobre de la mitjana mundial. En aquest sentit, cal posar èmfasi en la importància de disposar d'un coneixement precís sobre les emissions produïdes pels diversos sectors per a poder proposar i introduir modificacions a l'alça dels objectius de reducció de les emissions. Sembla evident que l'actuació dels poders públics catalans s'ha de centrar en els àmbits en els quals es disposa de més coneixement i competències, i en els quals l'actuació i la capacitat d'influència en els resultats puguin acabar sent especialment rellevants.

Amb relació al seguiment de les emissions i de les actuacions que es realitzen per reduir-les, un aspecte positiu del projecte de norma que s'examina és que mostra un esforç especial per a proveir d'instruments que puguin ser útils per a evidenciar que efectivament es compleixen els compromisos contrets en els àmbits estatal, europeu i internacional. És imprescindible garantir que aquests instruments a què fem referència funcionin i que es fixi un cicle de revisió que permeti fer balanç, cada cinc anys, del grau de compliment de totes les mesures que s'hagin posat en marxa per a assolir els objectius. D'aquesta manera es podrà verificar al llarg del temps la correcció del plantejament i dels instruments emprats o bé canviar-ne el rumb, si escau.

25.2.3.3. Aspectes organitzatius i assignació de responsabilitats

El Projecte de Llei també fa palès un esforç per a assignar responsabilitats concretes a òrgans determinats de l'Administració. Es proporciona, d'aquesta manera, la visibilitat i la clarificació que la matèria requeria. D'altra banda, es confirma un plantejament operatiu d'organització administrativa, que ja s'havia reclamat en les edicions anteriors d'aquest INFORME, com ara el fet que, més enllà de les funcions assignades a un departament concret, sigui del tot convenient disposar d'una comissió interdepartamental sobre el canvi el climàtic que tingui capacitat de proposta al nivell més alt. Com hem vist confirmat al contingut actual del Projecte de Llei, a partir de la intervenció es procedirà a l'aprovació de les propostes per part del Govern de la Generalitat.

En el Projecte de Llei es concreten tant les funcions departamentals com les que corresponen a òrgans participatius com ara el Consell Català del Clima, en el qual podria ser del tot convenient incloure i garantir una certa representació científica. També s'adopta el compromís de proveir informació periòdica al Parlament de Catalunya. Cap administració pública ni òrgan no hauria de quedar fora d'aquesta norma.

Amb el Projecte de Llei es volen alinear les polítiques públiques que incideixen en el clima i, a més, promoure l'efecte exemplificador de les administracions catalanes. Les administracions locals, com ja succeeix a l'Acord de París, hi són tingudes especialment en compte. No obstant això, i d'acord amb el marc competencial de què gaudeixen en el nostre dret, seria interessant (per congruència amb el model que es desprèn de l'Acord de París) plantejar-se la conveniència i l'oportunitat d'establir per Llei competències més precises per a aquests ens en matèries vinculades a la mitigació i a l'adaptació climàtica, així com interpretar en el sentit més ampli possible l'abast de les competències de què ja disposen actualment.

25.2.3.4. La planificació i la programació

Entre els preceptes de la norma que es volen destacar favorablement hi ha els relatius als plans i els programes aprovats per les administracions públiques catalanes i al paper que exerceixen i poden exercir en la valoració i la incorporació d'aspectes relacionats amb el canvi climàtic.

També mereixen una valoració positiva les previsions sobre la jerarquització i la vinculació entre els diferents instruments de planificació. Es considera especialment valuós que una norma amb rang de llei ho estableixi, atès que elimina incerteses, atorga seguretat jurídica i permet la formulació de polítiques coherents en aquesta matèria.

25.2.3.5. La rellevància dels aspectes relacionats amb el compliment de la llei projectada

El camí iniciat els darrers temps a Catalunya amb la presentació del Projecte de Llei sobre canvi climàtic denota una maduresa i una responsabilitat especials, coherents amb tot el que es preconitza des de la UE i amb els instruments internacionals esmentats en aquest epíleg. Catalunya reforça, amb aquest projecte normatiu, una posició de lideratge tant en l'àmbit intern com en l'àmbit internacional.

És ben cert que hi ha aspectes del contingut que es podrien millorar, com s'ha posat de manifest als tràmits d'informació pública i als informes emesos des d'òrgans molt especialitzats, com ara el mateix Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Nogensmenys, cal reconèixer que el text és ambiciós en molts aspectes i que presenta coherència interna. Disposar d'una eina d'aquestes característiques oferirà avantatges. No obstant això, a partir de l'aprovació, i arran de les exigències de transparència existents actualment, hom no pot obviar que allò que es faci habitualment tindrà una gran visibilitat i, per tant, evidenciarà al cap de pocs mesos el grau de fermesa o de rigor amb què es persegueixen els compromisos adoptats per mitjà de la norma. La correspondència dels resultats amb les expectatives que l'articulat hagi pogut generar, per tant, aflorarà ben aviat. És evident que una execució inadequada del que disposa una norma d'aquestes característiques podria desacreditar les polítiques públiques que la fonamenten.

Cal esperar, per tant, que els esforços per a aplicar-la siguin els que requereix, que se li assignin els recursos necessaris, que es comuniqui adequadament als ciutadans i que, en suma, aconseguixi ser un autèntic revulsiu per a les polítiques sectorials actuals.

Referències bibliogràfiques

- CAMPINS ERITJA, M.; PONT CASTEJÓN, I.; NIETO MORENO, J. E. (2010). «Aspectes legals de la lluita contra el canvi climàtic». A: LLEBOT, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 580-581.
- EUROPEAN COMMISSION (2015). «Consultation on the preparation of a legislative proposal on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the European Union's greenhouse gas emission reduction commitment in a 2030 perspective». A: *Climate action* [en línia]. <http://ec.europa.eu/clima/consultations/articles/0025_en.htm> [Consulta: 27 abril 2016].
- OCCC = *Oficina Catalana del Canvi Climàtic* (2015). *Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic de Catalunya 2008-2012: Avaluació* [en línia]. <http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques_catalanes/la_mitigacio_del_canvi_climatic/pla_marc_de_mitigacio_del_canvi_climatic_a_catalunya_2008-2012/15_04_28_Tancament-PMMCC-08-12.pdf> [Consulta: 27 abril 2016].
- PONT CASTEJÓN, I.; NIETO MORENO, J. E. (2012). «Actuación ambiental del Estado: las estrategias en un año de crisis». A: LÓPEZ RAMÓN, F. (ed.). *Observatorio de Políticas Ambientales 2012*. Cízur Menor: Aranzadi, p. 187-202.
- (2013). «Actuación ambiental del Estado: la primacía de objetivos de reactivación económica». A: LÓPEZ RAMÓN, F. (ed.). *Observatorio de Políticas Ambientales 2013*. Cízur Menor: Aranzadi, p. 189-204.
- (2014). «Actuación ambiental del Estado: planificación hidrológica, política energética y calidad del aire». A: LÓPEZ RAMÓN, F. (ed.). *Observatorio de Políticas Ambientales 2014*. Cízur Menor: Aranzadi, p. 249-264.
- (2015). «Actuación ambiental del Estado: planificación hidrológica, transporte y movilidad». A: LÓPEZ RAMÓN, F. (ed.). *Observatorio de Políticas Ambientales 2015*. Cízur Menor: Aranzadi, p. 319-342.

Sigles i acrònims



Sigles i acrònims

AAE	avaluació ambiental estratègica	AMO	<i>Atlantic multidecadal oscillation</i> (‘oscil·lació multidecennal de l’Atlàntic’)
ABT	àrea basal del tronc	ANTERRIT	Grup de Recerca d’Anàlisi Territorial i Desenvolupament Regional
ACA	Agència Catalana de l’Aigua	AORI	Atmosphere and Ocean Research Institute (Institut de Recerca en Atmosfera i Oceà)
ACCUA	Adaptacions al canvi climàtic en l’ús de l’aigua (projecte)	APAT	Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici (Agència per a la Protecció del Medi Ambient i per al Servei Tècnic)
ACS	aigua calenta sanitària	AR4	<i>Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Quart informe d’avaluació del Grup Intergovernamental d’Experts en Canvi Climàtic)</i>
ACV	anàlisi del cicle de vida	AR5	<i>Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cinquè informe d’avaluació del Grup Intergovernamental d’Experts en Canvi Climàtic)</i>
AdG	<i>advanced grant</i> (‘subvenció avançada’)	ARC	Agència de Residus de Catalunya
ADIF	Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (Administrador d’Infraestructures Ferroviàries)	ATLL	Aigües Ter Llobregat
ADP	Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action (Grup de Treball Especial sobre la Plataforma de Durban per a l’Acció Reforçada)	ATM	Autoritat del Transport Metropolità
AECI	Agencia Española de Cooperación Internacional (Agència Espanyola de Cooperació Internacional)	ATUDEM	Asociación Turística de Estaciones de Esquí y de Montaña (Associació Turística d’Estacions d’Esquí i de Muntanya)
AEMA	Agència Europea del Medi Ambient	AWG-KP	Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol (Grup de Treball Especial sobre els Nous Compromisos de les Parts de l’Annex I segons el Protocol de Kyoto)
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología (Agència Estatal de Meteorologia)		
AGACAPE	Anàlisi i Gestió Ambiental Fent Servir Eines de Modalització de Processos		
AGAUR	Agència de Gestió d’Ajuts Universitaris i de Recerca		
AGE	Asociación de Geógrafos Españoles (Associació de Geògrafs Espanyols)		
ALBA	Alianza Bolivariana para los Pueblos de Nuestra América (Aliança Bolivariana per als Pobles de la Nostra Amèrica)		
ALGATOX	Grup Microalgues Tòxiques i Toxines Associades		

AWG-LTC	Ad Hoc Working Group on Long-Term Cooperative Action under the Convention (Grup de Treball Especial sobre la Cooperació a Llarg Termini en el Marc de la Convenció)	CCS	<i>carbon capture and storage</i> ('captura i emmagatzematge de carboni')
AwR	<i>alkaline with regeneration</i> ('regeneració amb solució alcalina')	CCUC	Catàleg Col·lectiu de les Universitats de Catalunya
B2B	<i>business to business</i> ('vendes d'empresa a empresa')	CDIAC	Carbon Dioxide Information Analysis Center (Centre d'Anàlisi d'Informació de Diòxid de Carboni)
BABIU	<i>bottom ash for biogas upgrading</i> ('enriquiment de biogàs amb cendra')	CDM	<i>clean development mechanism</i> ('mecanisme de desenvolupament net')
BAIC	<i>Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics</i>	CE	Comunitat Europea
BASIC	el Brasil, Sud-àfrica, l'Índia i la Xina	CEAB	Centre d'Estudis Avançats de Blanes
BCCCE	biocombustibles amb captura de carboni i emmagatzematge	CEDAT	Centre d'Estudis de Dret Ambiental de Tarragona
BEKP	<i>bleached eucalyptus kraft pulp</i> ('pasta de paper Kraft blanquejada')	CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Centre d'Estudis i Experimentació d'Obres Públiques)
BIOCOM-SC	Grup de Biologia Computacional i Sistemes Complexos	CEMFOR	Center for Mediterranean Forest Research (Centre per a la Investigació Forestal Mediterrània)
BIR	Bureau of International Recycling (Agència de Reciclatge Internacional)	CENIT	Centre d'Innovació del Transport
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Ministeri Federal de Medi Ambient, Protecció de la Naturalesa, Construcció i Seguretat Nuclear)	CEPEiMA	Centre d'Enginyeria de Processos, Energia i Medi Ambient
BREATHE	Brain development and air pollution ultrafine particles in school children (Desenvolupament del cervell i contaminació per partícules ultrafines en els escolars) (projecte)	CEPI	Confederation of European Paper Industries (Confederació d'Indústries Papereres Europees)
BRICS	el Brasil, Rússia, l'Índia, la Xina i Sud-àfrica	CER	<i>certified emissions reduction</i> ('reducció d'emissions certificada')
BSC	Barcelona Supercomputing Center (Centre Nacional de Supercomputació)	CERC	Coastal Engineering Research Center (Centre de Recerca en Enginyeria Costanera)
BTT	bicicleta tot terreny	CERCA	Centres de Recerca de Catalunya
C3	Centre for Climate Change (Centre per al Canvi Climàtic)	CERG	Centre Européen sur les Risques Géomorphologiques (Centre Europeu de Riscos Geomorfològics)
C3E	Cambio climático en la costa española (Canvi climàtic a la costa espanyola) (projecte)	Cetaqua	Centro Tecnológico del Agua (Centre Tecnològic de l'Aigua)
CADS	Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible	CFC	clorofluorocarburi
CAT	Consorci d'Aigües de Tarragona	CHC50	<i>Cartografía dels hàbitats de Catalunya 1:50.000</i>
CC	canvi climàtic	CICYT	Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia)
CCAE	classificació catalana d'activitats econòmiques	CIDOB	Centre d'Investigació i Documentació Internacionals de Barcelona
CCC	central de cycle combinat	CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Centre d'Investigacions Energètiques, Mediambientals i Tecnològiques)
CCP	capacitat de càrrega psicològica	CIEN	Comunicació Intercultural i Estratègies de Negociació
CCPAE	Consell Català de la Producció Agrària Ecològica		

CIIRC	Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners	COVB	compost orgànic volàtil d'origen biològic
CIMNE	Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria	CRAG	Centre de Recerca en Agrigenòmica
CIRIT	Consell Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica	CRAHI	Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia
CISOT	Centro de Investigación Socio-técnica (Centre d'Investigació Sociotècnica)	CREAF	Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals
CITCEA	Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments	CREAL	Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental
CITL	Community Independent Transaction Log (Registre Comunitari Independent de Drets d'Emissió)	CREDA	Centre de Recerca en Economia i Desenvolupament Agroalimentari
CLIVAR	Climate and ocean: variability, predictability and change (Oceà i clima: variabilitat, predictabilitat i canvi) (projecte)	CREM	Cercle de Recerques i Estudis Mogoda
CMIP	Coupled model intercomparison project (Projecte d'intercomparació de models acoblats)	CREVER	Grup de Recerca en Enginyeria Tèrmica Aplicada
CMIP3	Coupled model intercomparison project, phase 3 (Projecte d'intercomparació de models acoblats, fase 3)	CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Consell Superior d'Investigacions Científiques)
CMIP5	Coupled model intercomparison project, phase 5 (Projecte d'intercomparació de models acoblats, fase 5)	CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Organització per a la Recerca Industrial i Científica de la Commonwealth)
CMIP6	Coupled model intercomparison project, phase 6 (Projecte d'intercomparació de models acoblats, fase 6)	CSUC	Consorci de Serveis Universitaris de Catalunya
CMNUCC	Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic	CTD	<i>conductivity, temperature and depth probe</i> ('conductivitat, temperatura i profunditat')
CNUMAD	Conferència de les Nacions Unides per al Medi Ambient i el Desenvolupament	CTFC	Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
CONAMA	Congreso Nacional del Medio Ambiente (Congrés Nacional del Medi Ambient)	DA	digestió anaeròbica
COP	Conferència de les Parts (del Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic)	DARP	Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació
COP	compost orgànic persistent	DDE	<i>dichlorodiphenyldichloroethylene</i> ('diclorodifeniltricloroetilè')
COP-MOP	Conference of the Parties Serving as the Meeting of the Parties to the Protocol (Conferència de les Parts que Actua com a Reunió de les Parts al Protocol)	DDT	<i>dichlorodiphenyltrichloroethane</i> ('diclorodifeniltricloroetà')
CORDEX	<i>coordinated regional downscaling experiment</i> ('experiment coordinat de regionalització climàtica')	DECK	<i>diagnostic, evaluation and characterization of klima</i> ('diagnosi, avaluació i caracterització del clima')
COV	compost orgànic volàtil	DEMEA	Deutsche Materialeffizienz Agentur (Agència Alemanya de l'Eficiència dels Materials)
		DGQA	distintiu de garantia de qualitat ambiental
		DIC	<i>dissolved inorganic carbon</i> ('carboni inorgànic dissolt')
		DNA	<i>deoxyribonucleic acid</i> ('àcid desoxiribonucleic')
		DOUE	<i>Diario Oficial de la Unión Europea</i>
		DRP	demanda recreativa potencial
		DUN	declaració única agrària

DURSI	Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació	ERU	<i>emission reduction unit</i> ('unitat de reducció d'emissió')
EADA	Escola d'Alta Direcció i Administració	ESADE	Escola Superior d'Administració i Direcció d'Empreses
EAF	<i>ecosystem approach to fisheries</i> ('gestió ecosistèmica dels recursos pesquers')	ESCACC	Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic
EAWS	European Avalanches Warning Services (Servei Europeu de Previsió d'Allaus)	ESCAT	Generació d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya (projecte)
EC	European Commission (Comissió Europea)	ESCI	Escola Superior de Comerç Internacional
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecasting (Centre Europeu de Predicció a Mitjà Termini)	ESM	<i>Earth system model</i> ('model del sistema Terra')
ECOFUN	Laboratori d'Ecologia Funcional i Canvi Global	ESYRCE	Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos (Enquesta sobre superfícies i rendiments de cultius)
ECONECOL	Grup d'Economia Ecològica	ETAP	estació de tractament d'aigua potable
EDAR	estació depuradora d'aigües residuals	ETC/ACM	European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (Centre Temàtic Europeu sobre Pol·lució de l'Aire i Mitigació del Canvi Climàtic)
EEA	European Environmental Agency (Agència Europea del Medi Ambient)	ETCCDI	Expert Team on Climate Change Detection and Indices (Grup d'Experts en Detecció del Canvi Climàtic i Índexs)
EECCEL	Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (Estratègia Espanyola de Canvi Climàtic i Energia Neta)	EU ETS	<i>European Union emissions trading system</i> ('sistema europeu del comerç de drets d'emissió') o <i>European Union emissions trading scheme</i> ('règim europeu del comerç de drets d'emissió')
EED	Energy efficiency directive (Directiva d'eficiència energètica)	EUA	<i>European Union allowance</i> ('dret d'emissió europeu')
EEE	<i>European ecolabel</i> ('etiqueta ecològica europea')	EUA	Estats Units d'Amèrica
EEF	The Manufacturers' Organisation (Organització de Fabricants)	EUAA	<i>European Union aviation allowances</i> ('dret d'emissió europeu per a l'aviació')
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme (Sistema de Gestió i Auditoria Mediambientals)	EURECAT	Centre Tecnològic de Catalunya
ENSO	El Niño - Southern Oscillation (El Niño - Oscil·lació del Sud)	EUTL	European Union Transaction Log (Registre Únic Europeu de Drets d'Emissió)
EPA	Environmental Protection Agency (Agència de Protecció del Medi Ambient)	EXIT	Enginyeria de les Xarxes i les Infraestructures de Transport
EPICA	European project for ice coring in Antarctica (Projecte europeu per a l'estudi de mostres de gel de l'Antàrtida)	FAO	Food and Agriculture Organization (Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació)
ERA-40	<i>European reanalysis</i> ('reanàlisi atmosfèrica europea', produïda per l'ECMWF)	FAPAR	<i>fraction of absorbed photosynthetically active radiation</i> ('fracció de radiació fotosintèticament activa absorbida')
ERC	European Research Council (Centre Europeu de Recerca)	FEDER	Fons Europeu de Desenvolupament Regional
ERMES	European Research Group on Mobile Emission Sources (Grup Europeu de Recerca en Fonts d'Emissió Mòbils)		
EROI	<i>energy return on investment</i> ('rendiment de l'energia de la inversió')		

FGC	Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya	GRH	Grup de Relacions Hídriques en Plantes
FMCG	<i>fast moving consumer goods</i> ('productes de gran consum')	GRIDE	Grup de Recerca d'Innovació i Dinàmica Empresarial
FORESTREAM	Research Group on Forest and Stream Ecological Links: Watershed Management and Restoration (Grup de Recerca en Relacions Ecològiques de Boscos i Rierols: Gestió i Restauració de Conques)	GRIP	Greenland ice core project (Projecte de mostres de gel de Groenlàndia)
FORM	fracció orgànica de residus municipals	GRRISE	Grup de Regulació de Riscos i de Sectors Estratègics
G2R	Grup de Recerca en Remugants	GRUMETS	Grup de Mètodes i Aplicacions de Teledetecció i Sistemes d'Informació Geogràfica
GAIA	Geologia Aplicada i Ambiental	GURB	Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat
GAMES	Gestió i Anàlisi Multiescala de Biodiversitat i Serveis Ambientals als Sistemes Forestals i Agrícoles sota Canvi Global	GWEC	Global Wind Energy Council (Consell Global de l'Energia Eòlica)
GBBE	Grup de Genòmica, Bioinformàtica i Biologia Evolutiva	HAB	<i>harmful algal blooms</i> ('proliferació d'algues nocives')
GCM	<i>global climate model</i> ('model climàtic global')	HCB	<i>hexachlorobenzene</i> ('hexaclorobenzè')
GCP	Global Carbon Project (Projecte Global del Carboni)	HCH	<i>hexachlorocyclohexane</i> ('hexaclorociclohexà')
GEAP	Grup de Recerca en Economia Aplicada	HCO	<i>holocene climatic optimum</i> ('òptim climàtic holocè')
GECA	Grup d'Ecologia dels Canvis Ambientals	HFC	hidrofluorocarbonur
GECCC	Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya	HIPOCAS	Hindcast of dynamic processes of the ocean and coastal areas of Europe (Projecció retrospectiva de processos dinàmics de l'oceà i les àrees costaneres d'Europa) (projecte)
GEF	Global Environment Facility (Fons Mundial per al Medi Ambient)	HRS4R	Human Resources Strategy for Researchers (Estratègia de Recursos Humans per a Investigadors)
GEH	gas amb efecte d'hivernacle	HYLUC	<i>hydrology of land use change</i> ('hidrologia del canvi dels usos del sòl')
GHG	<i>greenhouse gas</i> ('gas amb efecte d'hivernacle')	IAASTD	International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (Avaluació Internacional del Paper del Coneixement, la Ciència i la Tecnologia en el Desenvolupament Agrícola)
GIEP	Grup d'Investigació en Economia Pública	IAEG	International Association for Engineering Geology and the Environment (Associació Internacional d'Enginyeria Geològica i Medi Ambient)
GLODAP	Global ocean data analysis project (Projecte d'anàlisi global de dades oceàniques)	IATA	International Air Transport Association (Associació Internacional del Transport Aeri)
GRAD	Grup de Recerca sobre Atenció a la Diversitat	IC3	Institut Català de Ciències del Clima
GRAM	Grup de Recerca Ambiental Mediterrània	ICAEN	Institut Català d'Energia
GRAP	Grup de Recerca en Agròtica i Agricultura de Precisió	ICEA	Institució Catalana d'Estudis Agraris
GRATS	Grup de Recerca en Aigua, Territori i Sostenibilitat	ICGC	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
GRD	Grup de Recerca en Regulació del Desenvolupament	ICIQ	Institut Català d'Investigació Química
GReCT	Grup de Recerca de Ciències de la Terra		
GRGCGC	Grup de Recerca Geoquímica en Canvi Global i Climàtic		

ICLEI	International Council for Local Environmental Initiatives (Governs Locals per la Sostenibilitat)	INM	Instituto Nacional de Meteorología (Institut Nacional de Meteorologia)
ICM	Institut de Ciències del Mar	INMA	Infància i Medi Ambient
ICN2	Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia	INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (Institut Nacional de Tècnica Aeroespacial)
iCoast	Integrated coastal alert system (Sistema integrat d'alerta costanera) (projecte)	INTERFASE	Grup de Recerca en Recursos Marins i Costaners, Territoris, Paisatge i Migracions
ICRA	Institut Català de Recerca de l'Aigua	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic)
ICREA	Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats	IPHES	Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social
ICTA	Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals	IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
ICTJA	Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera	IQS	Institut Químic de Sarrià
IDAEA	Institut de Diagnosi Ambiental i Estudis de l'Aigua	IREC	Institut de Recerca en Energia de Catalunya
Idescat	Institut d'Estadística de Catalunya	IRTA	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries
IEA	International Energy Agency (Agència Internacional de l'Energia)	ISGlobal	Institut de Salut Global de Barcelona
IEC	Institut d'Estudis Catalans	ISI	Grup d'Instrumentació, Sensors i Interfície
IEEC	Institut d'Estudis Espacials de Catalunya	ISRM	International Society for Rock Mechanics (Societat Internacional de Mecànica de Roques)
IEFC	Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya	ISSMGE	International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Societat Internacional de Mecànica de Sòls i Enginyeria Geotècnica)
IER	intensiu en energies renovables (escenari)	ITL	International Transaction Log (Registre Internacional de Drets d'Emissió)
IET	Instituto de Estudios Turísticos (Institut d'Estudis Turístics)	ITV	inspecció tècnica de vehicles
IFN	Inventario Forestal Nacional (Inventari Forestal Nacional)	IUSS	International Union of Soil Sciences (Unió Internacional de Ciències del Sòl)
IFN2	<i>Segundo Inventario Forestal Nacional (Segon Inventari Forestal Nacional)</i>	JI	<i>joint implementation</i> ('implementació conjunta')
IFN3	<i>Tercer Inventario Forestal Nacional (Tercer Inventari Forestal Nacional)</i>	JRC	Joint Research Center of the European Commission (Centre Comú de Recerca de la Comissió Europea)
IFN4	<i>Cuarto Inventario Forestal Nacional (Quart Inventari Forestal Nacional)</i>	JTC-1	Joint Technical Committee 1 (Comitè Tècnic Conjunt 1)
IGN	Instituto Geográfico Nacional (Institut Geogràfic Nacional)	KIC	Knowledge and Innovation Community (Comunitat de Coneixement i Innovació)
IIP	Instituto de Investigaciones Pesqueras (Institut d'Investigacions Pesqueres)	KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Reial Institut de Meteorologia dels Països Baixos)
IMA	Institut de Medi Ambient	KPI	<i>key performance indicator</i> ('indicador clau de rendiment')
ImpactAnt	Grup Dinàmica de Sistemes Naturals i els Impactes Antròpics	LAI	<i>leaf area index</i> ('índex d'àrea foliar')
INDC	<i>intended nationally determined contribution</i> ('contribució prevista determinada nacionalment')		
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (Institut Nacional d'Investigació i Tecnologia Agrària i Alimentària)		

LASEG	Laboratori d'Anàlisi de Sistemes Socio-Ecològics en la Globalització	METROBS	Observatori Metropolità del Canvi Climàtic
LED	<i>light emitting diode</i> ('diode emissor de llum')	MFA	<i>material flow analysis</i> ('anàlisi de fluxos de materials')
LGM	<i>last glacial maximum</i> ('últim màxim glaciari')	MINECO	Ministerio de Economía y Competitividad (Ministeri d'Economia i Competitivitat)
LIA	<i>little ice age</i> ('petita edat de gel')	MINOS	Microsystems and Nanotechnologies for Chemical Analysis (Microsistemes i Nanotecnologies per a l'Anàlisi Química)
LIC	lloc d'importància comunitària	MIP	<i>model intercomparison project</i> ('projecte temàtic d'intercomparació')
LIDAR	<i>light detection and ranging</i> ('detecció de llum i distància')	MIT	Massachusetts Institute of Technology (Institut de Tecnologia de Massachusetts)
LIM	Laboratori d'Enginyeria Marítima	MLR	<i>multiple linear regression</i> ('regressió multilinear')
LOCEAN	Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie (Laboratori d'Oceanografia Dinàmica i de Climatologia)	MOS	<i>model output statistics</i> ('mètode estadístic per a augmentar la resolució espacial')
LULUCF	<i>land use, land-use change and forestry</i> ('ús de la terra, canvis de l'ús de la terra i silvicultura')	MPOC	malaltia pulmonar obstructiva crònica
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient)	MRI	Mountain Research Initiative (Iniciativa de Recerca en Muntanya)
MATCAT	Grup Materials Inorgànics Avançats i Catàlisi	MSR	<i>market stability reserve</i> ('reserva d'estabilitat del mercat')
MBA	<i>master of business administration</i> ('màster en administració d'empreses')	MTV	malaltia transmesa per vectors
MCA	<i>medieval climate anomaly</i> ('anomalia climàtica medieval')	NAO	<i>North Atlantic oscillation</i> ('oscil·lació de l'Atlàntic Nord')
MCNG	Museu de Ciències Naturals de Granollers	NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administració Nacional d'Aeronàutica i de l'Espai)
MCSC	<i>Mapa de cobertes del sòl de Catalunya</i>	NAZCA	Non-State Actor Zone for Climate Action (Zona per a l'Acció Climàtica d'Actors no Estatals)
MCYT	Ministerio de Ciencia y Tecnología (Ministeri de Ciència i Tecnologia)	NEE	intercanvi net de l'ecosistema
MDS	model digital de superfície	NEMEN	Nanoenginyeria de Materials Aplicats a l'Energia
MDT	model digital del terreny	NER	New Entrants' Reserve (Reserva per a Nous Entrants)
MDV	model digital de la vegetació	NHS/NC	no ho sap / no contesta
MEC	Ministerio de Educación y Ciencia (Ministeri d'Educació i Ciència)	NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (Institut Nacional per a la Seguretat i Salut Ocupacional)
MEDACC	Adaptant la Mediterrània al canvi climàtic (projecte)	NMCOV	<i>non-methan volatile organic compound</i> ('compost orgànic volàtil no derivat del metà')
MEDCAMPUS	Programa de Ciències del Mar de la Universitat de la Mediterrània	nrg4SD	Network of Regional Governments for Sustainable Development (Xarxa de Govern Regionals per al Desenvolupament Sostenible)
Meridià	Mesurament de la Recerca, el Desenvolupament i la Innovació	OCCC	Oficina Catalana del Canvi Climàtic
MERS	Marines and Environmental Biogeosciences Research Group (Grup de Recerca en Biogeociències Marines i Mediambientals)		
MEtA	Materials Engineering and their Applications (Enginyeria de Materials i les seves Aplicacions)		

OCDE	Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmics	PITC	Pla d'Infraestructures de Transport de Catalunya
OE	Observatori de l'Ebre	PK	Protocol de Kyoto
OECC	Oficina Española de Cambio Climático (Oficina Espanyola de Canvi Climàtic)	PM	partícula en suspensió
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmics)	PM_{0,1}	partícula en suspensió de diàmetre inferior a 0,1 µm
OMM	Organització Meteorològica Mundial	PM₁₀	partícula en suspensió de diàmetre inferior a 10 µm
OMS	Organització Mundial de la Salut	PM_{2,5}	partícula en suspensió de diàmetre inferior a 2,5 µm
ONU	Organització de les Nacions Unides	PMMCC	Pla Marc de Mitigació del Canvi Climàtic a Catalunya 2008-2012
OPCC	Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic	PMQAB	Pla de Millora de la Qualitat de l'Aire a Barcelona 2015-2018
OR	Observatori de Recerca	PMU	pla de mobilitat urbana
PAC	política agrícola comuna	PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (Pla Nacional d'Adaptació al Canvi Climàtic)
PAES	Pla d'Acció per a l'Energia Sostenible	PNE	producció neta
PaleoRisk	Paleogeoeologia, Riscs Naturals i Gestió Ambiental	POCS	Pla d'Actuació per Prevenir els Efectes de les Onades de Calor sobre la Salut
PAMQA	Pla d'Actuació per a la Millora de la Qualitat de l'Aire a les Zones de Protecció Especial de l'Ambient Atmosfèric	POCTEFA	Programa de Cooperación Territorial Interreg V-A España-Francia-Andorra (Programa de Cooperació Territorial Interreg V-C Espanya-França-Andorra)
PCA	<i>principal component analysis</i> ('anàlisi de components principals')	POLY2	Polyfunctional Polymeric Materials (Materials Polifuncionals Polimèrics)
PCB	<i>polychlorinated biphenyl</i> ('bifenil policlorat')	POUM	pla d'ordenació urbanística municipal
PDI	Pla Director d'Infraestructures	PPB	producció primària bruta
PDM	Pla Director de la Mobilitat 2013-2018	PPC	paritat de poder de compra
PDUSC	pla director urbanístic del sistema costaner	PPN	producció primària neta
PECAC	Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya	PRECAT20	Programa General de Prevenció i Gestió de Residus i Recursos de Catalunya 2013-2020
PECC	Pacific Economic Cooperation Council (Consell de Cooperació Econòmica del Pacífic)	PRODIS	Disseny Industrial i Desenvolupament de Producte
PEG	potencial d'escalfament global	PROENCAT	Prospectiva Energètica de Catalunya
PEIN	Pla d'Espais d'Interès Natural	PSMSL	Permanent Service for Mean Sea Level (Servei Permanent del Nivell Mitjà del Mar)
PEIT	Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (Pla Estratègic d'Infraestructures i Transport)	PSS	<i>practical salinity scale</i> ('escala pràctica de salinitat')
PET	<i>physiologically equivalent temperature</i> ('temperatura fisiològica equivalent')	PTP	pla territorial parcial
PIB	producte interior brut	PTPAPA	Pla Territorial Parcial de l'Alt Pirineu i Aran
PICCC	<i>Primer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya</i>	PTPCC	Pla Territorial Parcial de les Comarques Centrals
PIME	petita i mitjana empresa	PTPCG	Pla Territorial Parcial de les Comarques Gironines
PINSAP	Pla Interdepartamental de Salut Pública	PTPCT	Pla Territorial Parcial del Camp de Tarragona

PTPTE	Pla Territorial Parcial de les Terres de l'Ebre	SAMA	Seguretat Alimentària i Mediambiental
PTSCEC	Pla Territorial Sectorial de la Connectivitat Ecològica de Catalunya	SAR	<i>Second assessment report</i> of the Intergovernmental Panel on Climate Change (<i>Segon informe d'avaluació</i> del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic)
PTVC	Pla de Transport de Viatgers a Catalunya	SCAR	Standing Committee on Agricultural Research (Comitè Permanent de Recerca Agrícola)
R+D	recerca i desenvolupament	SERINGAS	Système Électronique de Registre Informatisé des Gaz à effet de Serre (Sistema Electrònic de Registre d'Informació de Gasos amb Efecte d'Hivernacle)
R+D+I	recerca, desenvolupament i innovació	SES	<i>socio-ecological system</i> ('sistema socioecològic' o 'socioecosistema')
RACO	Revistes Catalanes amb Accés Obert	SET Plan	Strategic Energy Technology Plan (Pla Estratègic de Tecnologia de l'Energia)
RCCDE	règim comunitari per al comerç de drets d'emissió	SGA	sistema de gestió ambiental
RCM	<i>regional climate model</i> ('model climàtic regional')	SGR	Suport a Grups de Recerca
RCP	<i>representative concentration pathway</i> ('trajectòria de concentració representativa')	SICCC	<i>Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya</i>
Reco	respiració de l'ecosistema	SIG	sistema d'informació geogràfica
REDD	<i>reducing emissions from deforestation and forest degradation</i> ('reducció d'emissions per desforestació i degradació dels boscos')	SIGPAC	sistema d'informació geogràfica de parcel·les agrícoles
REGMED	Centre de Regadius de la Mediterrània	SMC	Servei Meteorològic de Catalunya
RENADE	Registro Nacional de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (Registre Nacional de Drets d'Emissió de Gasos amb Efecte d'Hivernacle)	SMILE	Smart green innovative urban logistics for energy efficient mediterranean cities (Logística urbana, verda, intel·ligent i innovadora per a ciutats mediterrànies eficients energèticament) (projecte)
Renfe	Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (Xarxa Nacional dels Ferrocarrils Espanyols)	SOM	<i>soil organic matter</i> ('matèria orgànica dels sòls')
RENFORUS	Renewable Energy Futures for UNESCO Sites (Futurs d'Energia Renovable per a Llocs de la UNESCO)	Sostenipra	Grup Sostenibilitat i Prevenció Ambiental
RFC-6	<i>rail freight corridor 6</i> ('corredor ferroviari de mercaderies 6' o 'corredor ferroviari mediterrani')	SPEI	<i>standardised precipitation-evapotranspiration index</i> ('índex normalitzat de precipitació i evapotranspiració')
RIS3CAT	Estratègia de Recerca i Innovació per a l'Especialització Intel·ligent de Catalunya	SPIF	Servei de Prevenció d'Incendis Forestals
RMS	rendiment màxim sostenible	SRES	<i>Special report on emissions scenarios</i> (<i>Informe especial sobre escenaris d'emissions</i>)
RNA	<i>ribonucleic acid</i> ('àcid ribonucleic')	SSF	<i>solid state fermentation</i> ('fermentació en estat sòlid')
RPLE	Registo Português de Licenças de Emissão (Registre Portuguès de Drets d'Emissió)	SST	<i>sea surface temperature</i> ('temperatura marina superficial')
RR	risc relatiu de mortalitat	StG	<i>starting grant</i> ('subvenció inicial')
RSM	residu sòlid municipal	SWAN	Simulating Waves Nearshore (Simulant Ones Costaneres)
RSU	residu sòlid urbà		
SAIH	Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica		

SyG	<i>synergy grant</i> ('subvenció de sinergia')	URL	Universitat Ramon Llull
TAV	tren d'alta velocitat	URV	Universitat Rovira i Virgili
TDX	Tesis Doctorals en Xarxa	USACE	United States Army Corps of Engineers (Cos d'Enginyers de l'Exèrcit dels Estats Units)
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity (Economia dels Ecosistemes i de la Biodiversitat)	UV	radiació ultraviolada
TERMCAT	Terminologia per a la Llengua Catalana	VAB	valor afegit brut
TIC	tecnologia de la informació i la comunicació	VER	<i>voluntary emission reduction</i> ('reducció d'emissió voluntària')
TICCC	<i>Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya</i>	VOC	<i>volatile organic compound</i> ('compost orgànic volàtil')
TMA	temperatura mitjana anual	WCRP	World Climate Research Programme (Programa Mundial de Recerca en Clima)
TMB	tractament mecanicobiològic	WeMO	<i>Western Mediterranean oscillation</i> ('oscil·lació del Mediterrani occidental')
TPC	transport públic col·lectiu	WGI	Working Group I of the <i>Fifth assessment report</i> of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Grup de Treball I del <i>Cinquè informe d'avaluació</i> del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic)
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona	WGIII	Working Group III of the <i>Fifth assessment report</i> of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Grup de Treball III del <i>Cinquè informe d'avaluació</i> del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic)
UB	Universitat de Barcelona	WMO	World Meteorological Organization (Organització Meteorològica Mundial)
UCE	Unitat d'Ecologia Química	WRF-ARW	Weather Research and Forecasting Model - Advanced Research WRF (Model de Recerca i Pronòstic del Temps - Recerca Avançada WRF)
UCLG	United Cities and Local Governments (Ciutats i Governes Locals Units)	WWF	World Wildlife Fund (Fons Mundial per a la Natura)
UCM	Universitat Complutense de Madrid	ZeEUS	Zero emission urban bus system (Sistema d'autobusos urbans d'emissions zero) (projecte)
UdG	Universitat de Girona	ZEPA	Zona d'especial protecció per a les aus
UdL	Universitat de Lleida	ZRE	Zentrum Ressourceneffizienz (Centre per a l'Eficiència dels Recursos)
UE	Unió Europea		
ULS	<i>ultimate limit state</i> ('estat límit últim')		
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient)		
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organització de les Nacions Unides per a l'Educació, la Ciència i la Cultura)		
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Conveni marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic)		
UNISDR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction (Oficina de les Nacions Unides per a la Reducció del Risc de Desastres)		
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya		
UPF	Universitat Pompeu Fabra		

