

UNA APROXIMACIÓ QUANTITATIVA A LA DINÀMICA DE L'ECOSISTEMA DELTAIC

per JORDI CAMP

A. INTRODUCCIÓ

És clar que el Delta de l'Ebre és un sistema extraordinàriament artificialitzat, tant que no es pot entendre sense l'home, tal com han senyalat els dos conferenciants precedents. No estarà de més, però, que en aquesta explicació del funcionament global del Delta tractem de detallar una mica aquesta característica d'artificialitat donant una mesura quantitativa als conceptes, doncs pensem que qualsevol al·legat ecològic pot semblar gratuït si no és dimensionat adequadament.

Les xifres que es donaran són en general aproximades, s'han de prendre com ordres de magnitud i poden en alguns casos presentar variacions notables en funció dels anys considerats. Es tracta però de dades recents; la majoria d'elles s'han obtingut a partir d'estudis realitzats per l'Institut de Ciències del Mar del CSIC, i el departament d'Ecologia de la Universitat de Barcelona durant els últims 10 anys i que encara continuen.

El riu Ebre porta al mar uns 15.000 hm³ any⁻¹ els quals passen a través del Delta sense pràcticament afectar-lo. El riu fortament regulat no surt mai de la llera i per tant no inunda ni diposita directament cap material sobre la plana deltaica. Tanmateix, els sòlids en suspensió són pocs i no semblen afectar sensiblement a curt termini, ni tan sols la llera del riu i menys compensar l'erosió marina o la subsidència.

B. EL DELTA EMERGIT

Per contra, la plana deltaica actual reb pràcticament tota l'aigua que passa al seu través, per obra de l'enginyeria del segle passat que va iniciar la construcció del que avui són els canals de l'esquerra i dreta de l'Ebre. Aquests s'alimenten d'aigua de l'Ebre, derivada a l'azud de Cherta, petita represa situada aigües amunt de Tortosa, i la fan córrer paral·lela al riu, al llarg de 60 km fins pràcticament la desembocadura, però a un nivell uns metres superior al del riu. L'objectiu és guanyar nivell i per tant, escorrentia, la qual cosa permet forçar un fluxe d'aigua a través del sistema deltaic,

en tot el que això comporta. Es dir per obra de l'home, passem d'un sistema de fluxe intermitent i poc previsible, a un altre de fluxe constant i regulable que no sols facultava un aprofitament agrícola, sinó que permet que la plana deltaica es torni ordenable i habitable.

El cabal transportat és de l'ordre d'uns $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ per canal, que es pot mantenir constantment al llarg de tot l'any, encara que el període normal és des d'Abril fins al Novembre que és quan es necessita per als conreus. La resta de l'any el delta es manté sense aquest fluxe d'aigua. Això representa que dels $15.000 \text{ hm}^3 \text{ any}^{-1}$ que el riu Ebre descarrega al mar, menys d'un miler són els que circulen realment pel delta i alimenten directament el sistema.

El delta funciona en circuit obert, és a dir, des de que s'obren els canals es comença a omplir d'aigua i en estar inundat els excedents van al mar o a les badies. La capacitat d'aigua del delta, comptant l'aigua d'inundació dels arrossars fins a la capa freàtica (molt pròxima a la superfície) i les llacunes, és de l'ordre de 65 hm^3 , el que vol dir que el temps de residència de l'aigua dolça al sistema, comptant una entrada constant de $40 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ és de l'ordre de 20 dies.

D'aquesta aigua un 10 % s'evapora, la resta després de regar camps i alimentar arrossars i llacunes s'aboca al mar directament o mitjançant les badies.

En el seu pas a pel delta, l'aigua del riu es transforma notablement, en lo que respecta a la quantitat i qualitat de la matèria dissolta i particulada que transporta.

En primer lloc augmenta la seva salinitat. Així l'aigua que entra al delta pràcticament sense salt quan s'aboca al mar conté gairebé un 2 per mil. Això representa que el flux d'aigua a través del delta dissol i s'endú prop de un milió de Tm de sal cada any, es a dir, quasi 4 kg. de sal per cada metre quadrat de plana deltaica. Aquest rentat evita, obviament, una salinització dels camps que impossibilitaria qualsevol conreu.

Si el riu aporta directament al mar cada any unes 35.000 Tm de N i 2.000 de P, al sistema deltaic, via canals de rec entren respectivament des de Abril a Novembre unes 2.500 Tm de N i 150 Tm de P. Part d'aquests aports contribueixen a la producció agrícola en unes proporcions del següent ordre: per cada kg de N que porta l'aigua dels canals als camps, al pagès en tira dos, mentre que per cada un de P, el pagès n'aporta 5.

La collita retirarà prop de la meitat del total del N aportat i una proporció una mica més petita del P. El sistema «s'engoleix» una part dels excedents (immobilització de P al sediment, tornada de N a l'atmosfera per desnitrificació... etc.) i retornarà al mar unes 1.500 Tm de N i prop de 100 de P.

Les formes en que es presenten aquests elements també varien notablement. Així augmenta la fracció particulada de P i N i en el cas del N s'incrementa molt el percentatge de formes reduïdes respecte a les oxidades (és a dir, de l'amoni respecte al nitrat).

Tot això naturalment es reflexa en el contingut de carboni orgànic particulat que augmenta molt la seva concentració, així si al delta entren via canals unes 1.000 Tm any-1 de POC (del total de 15.000 de l'Ebre aboca al mar) en surten per els desguassos gairebé tres vegades més.

No cal doncs insistir més a la vista de les magnituds esmentades, que el delta és un sistema estuari «accelerat». Tot i la seva artificialització conserva gran part de les característiques generals dels sistemes estuaris naturals però a un ritme dictat per l'home, en tot el que això comporta (presa i «stress»).

C. EL DELTA MARÍ

Ara bé, el delta, no sols és la terra, sinó també el mar que l'envolta, que presenta unes característiques particulars en funció de l'existència del riu.

No parlaré dels efectes del riu sobre el mar exterior, car cauria una mica fora de l'enfoc d'aquesta sèrie de xerrades, i d'altra banda, no dispo de dades suficients. Recordem, però que en la fertilitat induïda per un riu que desemboca al mar és molt important l'efecte d'ascensió d'aigua marina provocat per la contracirculació estuarina, així com l'estabilització de la columna d'aigua provocada per l'aigua dolça. Tot això multiplica considerablement els efectes que poden tenir els aports directes de nutrients del riu sobre la producció biològica del entorn. Amés en aquesta fertilitat induïda és important no sols la quantitat i qualitat dels aports, sinó també la seva distribució temporal, pel que els efectes de la regulació d'un riu sobre els sistemes costaners no es pot considerar simplement com una funció lineal del cabal.

Si que incidirem, en canvi, en el que podríem considerar mar interior, o pròpia del sistema deltaic, que és aquella tancada per les fletxes de sorra al N i S del delta, que delimiten dues badies, el Fangar i els Alfacs.

Aquestes badies, contenen aigua fonamentalment marina, encara que parcialment diluïda per aports d'aigua dolça procedents de la plana deltaica. Així doncs corresponen, a la definició actual d'estuari, o si es vol, són badies estuarines. Per efecte dels nutrients aportats en les aigües «sobrants» del conreu, juntament amb el confinament i l'efecte d'estuari, les badies assoleixen nivells de producció biològica, que per unitat de volum són unes deu vegades superiors a les del mar circumdant, per tant llur capacitat d'aprofitament en maricultura és elevada.

Aquesta capacitat productiva és deguda a un adequat equilibri entre els aports d'elements nutritius que reben del delta via canals de desguàs i el temps que els esmentats aports romanen dins de les badies abans de sortir a mar. Això últim està fortament relacionat en lo que es coneix com a temps de renovació de l'aigua de les badies. Si el temps de renovació fos molt curt no es podrien aprofitar bé els elements nutritius, i la producció biològica, en cas de tenir lloc, es donaria fora de la

badia. Pel contrari, si el temps de renovació fos massa llarg l'estancament de les aigües provocaria entre altres coses situacions de manca d'oxigen en gran part dels fons de les badies (Anòxies).

El temps de renovació depèn del volum de la badia, el volum dels aports i la barreja d'aquests aports amb l'aigua de mar abans de sortir de la badia. Així els 150 hm³ any⁻¹ i 250 hm³ any⁻¹ d'aigua dels desguassos que reben respectivament el Fangar i els Alfacs arriben molt fraccionats temporal i espacialment per tota la banda de la badia que limita amb la plana deltaica. Aquesta zona d'aigües molt somes, facilita una barreja quasi bé total amb l'aigua de mar en un espai relativament petit. El resultat és que quan els excedents d'aigua surten per la boca de la badia ho fan molt barrejats de forma que la salinitat de sortida és normalment superior a 30; això representa una pèrdua d'aigua salada que és compensada per l'entrada d'aigua de mar pel fons de la badia. S'estableix doncs el tipus de circulació en dos capes propi dels estuaris positius estratificats. Si tenim en compte que la salinitat mitjana de l'aigua superficial que surt es de l'ordre de 34, la de la marina que entra pel fons pròxima a 38 i que la salinitat mitjana del conjunt de la badia roman aproximadament constant al llarg del temps, podem deduir que els fluxes establerts entre la badia i el mar, son d'un ordre de magnitud superiors als d'aigua dolça entrats (condició necessària per a mantenir l'estat estacionari observat).

La diferència entre els cabals d'entrada i sortida és sempre favorable al de sortida, en un volum igual al de l'aigua dolça entrada menys l'evaporació pròpia de la badia. El fluxe d'aigua marina entrant és el medi habitual de renovació de l'aigua de fons de la badia (excepte en el cas de barreja total per vents forts, fenomen relativament freqüent al Fangar però molt menys als Alfacs), i aquest fluxe d'aigua entrant depèn estretament del volum d'aigua dolça aportada a la badia pels canals de desguàs. En el cas dels Alfacs, la badia d'equilibri mes delicat, les magnituds dels cabals implicats amb aquest procés d'intercanvi serien les següents:

La badia reb, via canals de desguàs, de l'ordre de 0.7 a 1.0 hectòmetres cúbics d'aigua dolça al dia, dels quals en poden quedar d'útils per activar la circulació (una vegada s'ha descomptat l'evaporació a la badia) de 0.4 a 0.8 hm³/dia segons l'època de l'any. Aquests cabals una vegada multiplicats pel factor de barreja propi dels Alfacs indueixen una circulació i contracirculació d'aigua a la badia unes deu vegades més grans. Això vol dir que entren pel fons de la badia entre 4 i 9 hm³/dia, i per tant poden renovar la massa d'aigua fonda de la badia (aproximadament 50 hm³) en un temps que va de 5 a 13 dies.

D'altra banda, els processos biològics que tenen lloc al fons de la badia consumeixen oxigen a un ritme tal que el poden exhaurir en circumstàncies desfavorables en uns 10 dies. Aquestes circumstàncies desfavorables es donen a l'estiu, sobre tot a finals, moment en que les evaporacions són molt elevades i l'aigua dolça que reb la badia és amb prou feines, com a molt suficient per a garantir l'equilibri. Això és palès a les gràfiques d'oxigen de cada any que mostren aquesta situació perillosa de forma recurrent.

A més, quan es redueix la circulació i augmenta el temps de residència de les aigües a la badia es provoca, en mesos de forta calor, un increment de les temperatures. Això, associat a altres factors potenciats per aquest estancament com són proliferacions massives d'organismes fitoplànctònics pot ser el causant de les freqüents mortalitats de musclos observades en aquestes èpoques.

Seguint en l'exemple dels Alfacs, el mecanisme descrit té també implicacions en el balanç de masses de nutrients a la badia. Així, si procedents de la plana deltaica arriben al cap de l'any unes 450 Tm de N i 40 Tm de P, l'aigua de mar que entra pel fons de la badia en pot aportar més de 200 de N i prop de 35 de P. El sistema funciona en aquestes dues fonts de nutrients, capturant en cada moment el nutrient limitant i internalitzant-lo. El reciclat a diversos nivells, però sobre tot al fons de la badia sobre el sediment, actuaria donant estabilitat al sistema, uniformitzant en el temps unes aportacions essencialment intermitents.

El cas de la badia del Fangar és una mica diferent, degut a que el seu volum és d'un ordre de magnitud inferior al dels Alfacs (16 contra 153 hm³) mentre que el volum d'aigua dolça que reb via canals és semblant (150 contra 250 hm³ any⁻¹). Això contribueix a que tingui una dinàmica molt més ràpida, de forma que el temps mitjà de renovació de l'aigua és unes deu vegades inferior (2-3 dies contra 20), el que comporta que part dels processos biològics que als Alfacs tenen lloc dins de la badia, al Fangar succeeixen fora. Al Fangar també es donen anòxies, localitzades sobretot a la part SE de la badia, encara que la seva dinàmica es una mica diferent i probablement relacionada amb la distribució espacial dels aportos d'aigua dolça (que en la distribució actual prop de la boca surten de la badia, abans de barrejar-se suficientment induïnt per tant menys contracirculació i deixant una zona «morta» a llevant de la badia).

En ambdós badies en situacions de calma o vents fluïxos, la massa d'aigua superficial menys salada s'acumula a una banda o l'altra de la badia, però el mecanisme d'intercanvi funciona igualment. En cas de vents forts es trenca l'estructura vertical i per tant al mecanisme de circulació, que es recupera, malgrat això pocs dies després. Aquest mecanisme de circulació estuarina típica que ha estat descrit inicialment a partir de mesures estructurals i comprovat posteriorment a la badia d'Alfacs amb l'ajut de correntímetres, es mostra fonamental però el manteniment de les condicions ambientals de la badia, controla llurs mecanismes de producció primària i secundària i condiciona el destí d'aquesta producció.

EL FUTUR DEL DELTA

No obstant, una de les avantatges d'un sistema artificialitzat és que es pot manipular, una vegada que s'assolit un nivell de coneixements adequat sobre el seu funcionament, i pensem que aquest es el cas de les badies del delta. Actuant sobre

els cabals d'entrada d'aigua dolça a la badia, es pot regular els fluxes d'intercanvi i els temps de renovació de les aigües i per tant, en certa manera les condicions ambientals i capacitat productiva de la badia. En el cas del Fangar, la situació sembla encara més senzilla de regular donat que la relació entre volum de badia i cabal d'entrada és més favorable. Encara que ha estat menys estudiada per nosaltres, sembla com ja hem senyalat que la distribució espacial dels aportos abans esmentada, dona lloc a un estancament de les aigües de la part E de la badia i una exportació de capacitat productiva cap a l'exterior.

En resum podem dir que les condicions ambientals i capacitat productiva de les badies del delta depenen estretament, com tot el delta, dels cabals d'aigua dolça que reben dels camps de conreu, no sols per els nutrients que aporten, sinó també per la circulació que indueixen. Qualsevol reducció en aquests cabals repercuteix fortament en el conjunt en multiplicar-se llurs efectes per un factor proper a 10.

Doncs bé; si tot el sistema deltaic actual depèn del manteniment d'uns fluxes d'aigua forçats artificialment, cal reflexionar sobre quin sentit hem de donar a la paraula «conservació»: mantenir-lo com està?, deixar-lo per a que torni a ser «com seria»? L'últim punt, pot no ser convenient, però en tot cas tampoc és possible, car per fer-ho bé haurien d'anul·lar la regulació de l'Ebre i afectar directa o indirectament una tercera part de l'Estat espanyol. La primera proposta no es senzilla, doncs l'estat del delta pateix modificacions constants per l'efecte d'actuacions, moltes vegades contradictòries i no sempre afortunades, però tampoc es pot deixar d'actuar car el sol manteniment de l'estat actual demana un comportament actiu. Per tot això pensem que l'únic camí és en primer lloc definir tots plegats el delta desitjat, i només després d'haver-lo concretat, planificar les actuacions adequades per a la seva materialització i persistència. Cal fer notar que la màxima dificultat d'aquest procés no està en la definició del delta, sinó en la concreció de qui són, o som «tots plegats».

BIBLIOGRAFIA PER A UNA DOCUMENTACIÓ ADDICIONAL

1. Camp, J. (1994). «Aproximaciones a la dinámica ecológica de una bahía estuárica mediterránea». Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
2. Camp, J., Delgado, M. (1987). «Hidrografía de las bahías del delta del Ebro». *Inv. Pesq.* 51(3):351-359.
3. Camp, J., Delgado, M., Delgado, O., Pérez, M. y Vidal, M. (1985). «Algunes idees sobre el model de producció a les badies del delta de l'Ebre». *Treb. Soc. Cat. Biol.*, 37:65-68.
4. Camp, J., Romero, J., Pérez, M., Vidal, M., Delgado M. & Martínez A. (1991). «Production- consumption budgetin an estuarine bay: How anoxia is prevented

- in forced system». In: Homage to Ramón Margalef; or, Why there is such pleasure in studying nature J. D. Ros y N. Prat, (eds.). *Oecologia Aquatica*, 1:145-152.
5. Comin, F. A. (1981). «Limnología de las lagunas costeras del delta del Ebro». Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
 6. Delgado, M. (1986). «Ecología de diatomeas costeras. Relación plancton-bentos». Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 261 p.
 7. Delgado, M. (1987). «Fitoplacton de las bahías del Delta del Ebro». *Inv. Pesq.*, 51(4):517-548.
 8. Delgado, M. (1989). «Abundance and Distribution of Microphytobenthos in the Bays of Ebro Delta (Spain)». *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 29:189-194.
 9. Delgado, M. y J. Camp. (1987). «Abundancia y distribución de nutrientes inorgánicos disueltos en las bahías del delta del Ebro». *Inv. Pesq.*, 51(3):427-441.
 10. Font, J. (1983). «Corrientes permanentes en el borde de la plataforma continental frente al delta del Ebro». In: edited by J. Castellví. *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental*, Seminario Cádiz, pp. 149-161, Buper, Barcelona, Spain.
 11. Font, J. (1986). «La circulació general a la Mar Catalana». Doctoral Thesis, 323 pp. Facultat de Física, Univ. de Barcelona, Barcelona, Spain.
 12. Fores, E. (1989). «Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el delta del Ebro. Estudio de la velocidad escalar». *Inv. Pesq.*, 46(3):349-377.
 13. García, M. A., and A. Ballester. (1984). «Notas acerca de la meteorología y la circulación local en la región del delta del Ebro (1980-1981)». *Invest. Pesq.*, 48, 469-493.
 14. Guillén, J. (1992). «Dinámica y balance sedimentario en los ambientes fluvial y litoral del delta del Ebro». Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
 15. Guillén, J., Camp, J. and A. Palanques. «Short-time evolution of microtidal barrier-lagoon system effected by storm and overwashing: the Trabucador bar (Ebro delta, NW Mediterranean) *zeitschrift für Geomorphologie*». In press.
 16. Herrera, J. y R. Margalef. (1963). «Hidrografía y fitoplancton de la costa comprendida entre Castellón y la desembocadura del Ebro, de julio de 1960 a junio de 1961». *Inv. Pesq.*, 24:33-112.
 17. Hydrotechnic Corporation. (1966). «Estudio de reconocimiento y viabilidad del proyecto de riegos del delta del Ebro». Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Colonización, 200 pp.
 18. Ibáñez, C. (1993). «Dinàmica hidrològica i funcionament ecològic del tram estuari, del riu Ebre». Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
 19. Maldonado, A. (1972). «El delta del Ebro. Estudio sedimentológico y estratigráfico». *Bol. Estratigr.* 1:1-486.
 20. Martín, D. (1991). «Macroinfauna de una bahía mediterránea: Estudio de los

- niveles de organización de las poblaciones de anélidos poliquetos». Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
21. Martínez, A. (1990). «Estudio ecológico de las algas efemerofíceas; papel en los flujos de materia y energía en un sistema estuárico (Bahía de los Alfaques, Delta del Ebro. España)». Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 166 pp.
 22. Muñoz, I. (1990). «Limnología de la part baixa del riu Ebre i els canals de reg: els factors físico-químics, el fitoplancton i els macroinvertebrats bentònics». Tesi Doctoral, Univ. de Barcelona.
 23. Palacín, C. (1990). «Estudio ecológico de la mediofauna bentónica de la bahía de Els Alfacs (Delta del Ebro). Ecología y sistemática de las poblaciones de nematodos». Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 406 p.
 24. Palanques, A. (1987). «Dinámica sedimentaria, mineralogía y contaminantes i norgánicos de las suspensiones y de los sedimentos superficiales en el margen continental del Ebro». Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
 25. Panareda, J. M. (1977). «Climatología. In: Estudio de Protección del medio físico del delta del Ebro». DRYAS S.A., Barcelona, 422 pp.
 26. Pérez, M. (1989). «Fanerógamas marinas en sistemas estuáricos: Producción, factores limitantes y algunos aspectos del ciclo de nutrientes». Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 200 p.
 27. Pérez, M. y J. Camp. (1986). «Distribución espacial y biomasa de las fanerógamas marinas de las bahías del delta del Ebro». Inv. Pesq. 50:519-530.
 28. Pérez, M., Romero, J., Duarte, C. M. & K. Sand-Jensen. (1991). «Phosphorus limitation of *Cymodocea nodosa* growth». Marine Biology 109:129-133.
 29. Prat, N., Muñoz, I., Camp, J., Comín, F. A., Lucena, J. R., Romero, J. & M. Vidal. (1988). «Seasonal changes in particulate organic carbon and nitrogen in the river and drainage channels of the Ebro Delta (N.E. Spain)». Verh. der Internat. Verein. Limnol., 23:1.344-1.349.
 30. Vidal, M. (1991). «Studies on nutrient dynamics in estuarine systems: nutrient and oxygen sediment-water fluxes. Ph. D. dissertation». Univ. Barcelona.
 31. Vidal, M. (1994). «Phosphate dynamics tied to sediment disturbances in Alfacs Bay (NW Mediterranean)». Marine Ecology Prog. Ser., 110:211-221.
 32. Vidal, M., Romero, J. y Camp, J. (1989). «Sediment-water nutrient fluxes: preliminary results of in situ measurements in Alfaques Bay, Ebro River Delta». In: Ros, J. D. (ed.). Topics in marine biology. Scient. mar. 53:505-511.
 33. Vidal, M., Morgui, J. A., Latasa, M., Romero, J. y Camp, J. (1992). «Factors controlling spatial variability in ammonium release within an estuarine bay (Alfacs Bay, Ebro Delta, NW Mediterranean)». Hydrobiologia 235/236:519-525.