

Cambios climáticos

Rafael Poyatos, Jordi Martínez-Vilalta, Teodoro Marañón

Introducción



El clima determina la distribución, la estructura y el funcionamiento de los bosques. Este hecho es evidente en el contraste entre el paisaje vegetal mediterráneo de la Iberia seca y el de la Iberia húmeda, dominado por especies caducifolias de distribución eurosiberiana. Debido al marcado carácter montañoso del país, la influencia del clima sobre la vegetación se manifiesta también en la distribución altitudinal de las especies forestales. A pesar del limitado rango latitudinal de la **Península Ibérica**, existen grandes gradientes de continentalidad y una complejidad orográfica que resultan en una enorme **diversidad climática** y, en consecuencia, de sistemas forestales (Blanco et al., 1997).

La tendencia hacia un **clima más cálido y seco** en la España peninsular y Baleares ha sido especialmente acusada durante el último tercio del siglo XX. Durante el período entre 1973 y 2005, la temperatura media del aire se ha incrementado a un ritmo de 0,48 °C por década. Al mismo tiempo, las precipitaciones no han aumentado, y en algunas regiones como la mitad oriental de la cuenca del Ebro o el sur y levante peninsular, éstas se han reducido sensiblemente (Brunet et al., 2009). Las proyecciones climáticas para España, elaboradas a partir de escenarios socioeconómicos realistas de emisiones de gases de efecto invernadero, muestran una intensificación de la **tendencia a la aridez** y un incremento de la amplitud térmica para finales del presente siglo. Con respecto al período de referencia de los análisis climáticos (1960-1990), los modelos indican que las temperaturas máximas aumentarán de 3 a 4,5 °C y las mínimas entre 2,5 y 3,5 °C para el período 2071-2100. En general, los cambios más extremos se darán en el interior de la Península, mientras que la influencia marítima amortiguará las variaciones térmicas en el litoral y las islas. Asimismo, las precipitaciones disminuirán entre un 10 y un 35 %, con un descenso más acusado en el sur peninsular (Brunet et al., 2009).

El calentamiento global también conlleva un aumento de la variabilidad climática y una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos, en particular sequías y olas de calor. En la Península ha disminuido durante las últimas décadas la frecuencia e intensidad de períodos fríos mientras que ha aumentado la incidencia de episodios cálidos. Se han observado ya cambios en los patrones estacionales de la precipitación, que muestran que ésta tenderá a concentrarse en menos días al año. La previsión es que se **intensifiquen** la frecuencia y duración de las **sequías** y que **aumenten** los episodios de **lluvias torrenciales**, poco aprovechables por la vegetación (Brunet et al., 2009).



Efectos en los bienes y servicios forestales

Los bosques de la Península, por tanto, están experimentando condiciones cada vez más cálidas y secas, y numerosos estudios ya han documentado respuestas de la vegetación a estos cambios recientes en el clima. Al nivel de individuo, estas respuestas pueden ser fisiológicas, fenológicas y morfológicas, y pueden variar según la especie o grupos de especies y las condiciones topo-climáticas locales (Valladares et al., 2008). Si bien es cierto que un clima más templado en zonas frías y húmedas puede favorecer a ciertas especies, el aumento de la sequía puede comprometer la supervivencia de poblaciones en zonas secas a través del **aumento en la mortalidad** y la **inhibición de la regeneración**. Además, muchas especies forestales de la Península se encuentran en el lími-

te seco de su distribución geográfica y pueden ser especialmente vulnerables al aumento en la aridez.

Los efectos del cambio climático sobre la vegetación forestal no son por tanto espacialmente homogéneos, dada la gran variabilidad ecológica de los montes españoles. El calentamiento gradual ha prolongado el período de crecimiento anual en aquellas localidades en las que la disponibilidad de agua en el suelo no es limitante. Este hecho se ha traducido en un incremento del **crecimiento radial** en algunas especies de planifolios características de los bosques atlánticos y sub-mediterráneos. Sin embargo, en los límites altitudinales inferiores de la distribución de algunas de estas especies, como el haya (*Fagus sylvatica*), el crecimiento radial se ha ralentizado en las últimas décadas. El crecimiento de muchas coníferas de montaña (pinos de *Pinus nigra* y *P. sylvestris*, abetares y pinsapares) también se ha estancado o reducido, en parte como respuesta al acusado aumento de la aridez climática durante la segunda mitad del siglo XX. Aunque es cierto que las especies del bosque mediterráneo son más tolerantes a la sequía, tampoco están a salvo del aumento del déficit hídrico. Por ejemplo, la productividad y el crecimiento de la encina (*Quercus ilex*) y el pino carrasco (*P. halepensis*) pueden verse especialmente limitadas por la sequía en algunas zonas de la Meseta y del Valle del Ebro. Además, los tratamientos experimentales de calentamiento y sequía han mostrado que tanto el encinar como las comunidades de matorral mediterráneo son **vulnerables** a la intensificación de las condiciones de sequía (Peñuelas et al., 2008).

Más allá de los efectos sobre la fisiología y el crecimiento, el progresivo aumento de la sequía ha venido provocando aumentos graduales de la **de-**

foliación en la mayoría de especies arbóreas de nuestros montes (Camarero et al., 2008). Además, algunos episodios de sequía extrema en las últimas décadas ya han causado daños generalizados en las copas (Figura 1) y han aumentado la **mortalidad** de diversas especies leñosas. Las parcelas donde el estado de las copas empeoró a raíz de la sequía de 2005 se concentran sobre todo en el tercio norte de la Península (SPCAN, 2006). A nivel global, estos síntomas de decaimiento forestal, en parte relacionados con el cambio climático, son cada vez más documentados (Allen et al., 2009).

La producción de madera, corcho, leña, piñones, setas y otros servicios de **abastecimiento** del bosque **se reducirá** en muchas zonas con el aumento de la aridez. El papel actual de los montes como sumidero de carbono, y por tanto como instrumento de mitigación del propio cambio climático, también se verá comprometido por la mayor incidencia futura de la sequía. Asimismo, se espera una **reducción** generalizada de la **bio-diversidad** (Felicísimo et al., 2011). Los servicios de regulación, como la protección hidrológica,

la formación y protección de los suelos y la prevención de la desertificación se verán afectados especialmente en zonas marginales y en los límites secos de la distribución del bosque. La degradación del bosque sin una gestión mitigadora adecuada también reducirá su capacidad de proporcionar servicios culturales como los estéticos, paisajísticos, de identidad local y recreativos (EEME, 2011).



Interacciones con otros componentes del cambio global

Los efectos del cambio climático sobre los montes españoles dependen de su interacción con el resto de componentes del cambio global, y muy especialmente con el **abandono** generalizado de la **gestión agroforestal** iniciado durante la segunda mitad del siglo XX (Capítulo c). Los gestores actuales han heredado muchas masas repletas y densas con una alta competencia por

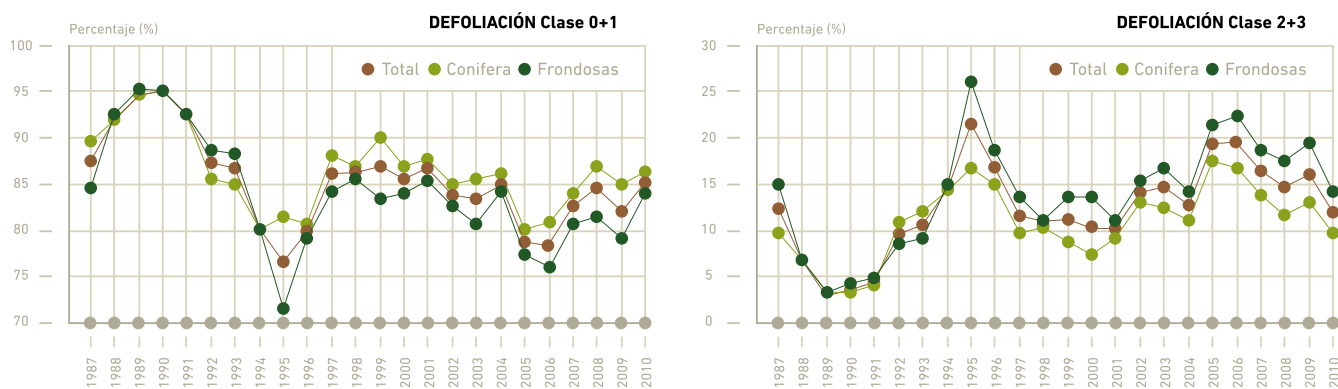


Figura 1. Series temporales de defoliación para las clases (a) 0+1 ($\leq 25\%$ de defoliación) y (b) 2+3 ($26\% < \text{defoliación} \leq 60\%$). Se observa un repunte de la defoliación en respuesta a las grandes sequías de 1994 y 2005

los recursos, agravando los efectos del estrés hídrico al reducirse la disponibilidad de agua por unidad de área basimétrica. En cambio, en zonas de montaña, un clima más templado favorece la expansión del bosque y el matorral, iniciada con el abandono del uso de los pastos, aunque esta dinámica puede ralentizarse a causa del aumento de la variabilidad climática. En el otro extremo, el **aumento** de la **fauna cinegética** o del ganado en algunas zonas del sur de la Península está llevando a una presión excesiva de herbívoros que impide la regeneración natural y que, unida a la mayor mortalidad de adultos provocada por el cambio climático, puede poner en riesgo la persistencia del arbolado.

Los daños en los bosques españoles causados por insectos y hongos superan actualmente a aquellos provocados por los factores abióticos. El reciente aumento de las temperaturas invernales favorece la **expansión** de poblaciones de **insectos fitófagos** hacia zonas donde hasta ahora el frío limitaba su desarrollo como plaga. Insectos como los escolítidos pueden afectar negativamente al sistema vascular de las plantas, tanto de manera directa (construcción de galerías, alimentación de tejido floemático) como indirecta (transmisión de hongos patógenos). Una mayor aridez climática limita la asimilación de carbono y reduce los recursos disponibles para la síntesis de compuestos de defensa, lo que aumenta la vulnerabilidad de las especies leñosas a los ataques de estas plagas (Martínez-Vilalta et al., 2012). En algunos casos, como los causados por los **patógenos** de pudrición de raíces (por ejemplo, *Phytophthora cinnamomi*), la sequía actuaría como factor de predisposición del individuo, aunque la afectación se produciría bajo condiciones de encharcamiento. Además el ca-

lentamiento global favorecería la expansión de estos patógenos introducidos, de origen tropical. Por tanto, la combinación de largos períodos secos con el incremento del carácter torrencial de las lluvias, además del calentamiento, podría aumentar la frecuencia de los ataques de estos patógenos de las raíces de encinas y alcornoques (Carrasco et al., 2009).

Los **cambios en la composición atmosférica** derivados de la actividad humana también intervienen en la respuesta fisiológica de la vegetación ante el cambio climático. El incremento de la concentración de dióxido de carbono atmosférico, con su efecto en el aumento de la eficiencia en el uso del agua, ha podido moderar los efectos de la sequía en algunas especies, aunque en general, esta mejora fisiológica no se ha traducido en un mayor crecimiento. Tampoco parece que los bosques mediterráneos puedan beneficiarse de los aportes atmosféricos de nitrógeno en un escenario de reducida disponibilidad hídrica y de otros nutrientes como el fósforo. Por otro lado, elevadas concentraciones de ozono troposférico podrían afectar negativamente a especies situadas en hábitats más húmedos ([Capítulo a](#)).

Finalmente, el cambio climático, y en especial, el aumento en la variabilidad climática, pueden modificar el **régimen de incendios forestales**. El aumento de la aridez crónica contribuye a una mayor inflamabilidad de la vegetación y los episodios de sequía extrema disparan el riesgo de ignición y expansión de incendios, siempre que haya disponibilidad de combustible. El riesgo de incendio se extenderá hacia zonas históricamente poco afectadas por esta perturbación y con escasa capacidad de respuesta por parte de la vegetación ([Capítulo d](#)).



Indicadores y mapas de riesgo

La **transparencia de las copas**, medida utilizando protocolos bien establecidos, puede ser un indicador útil del vigor de la masa forestal. No obstante, una elevada defoliación (más del 50 % en comparación con la copa de un árbol sano de similares características), puede manifestar síntomas de decaimiento ya avanzados. La **dendrocronología** permitiría una identificación más temprana de estos procesos, aunque su aplicación extensiva es costosa y tampoco sería efectiva en la detección temprana del decaimiento para todas las especies. Por último, se debe prestar especial atención a aquellas situaciones en que el tipo de sustrato o las condiciones locales de suelo (profundidad, textura) puedan limitar la disponibilidad hídrica o de nutrientes.

A la hora de elaborar **mapas de riesgo** ante el cambio climático, existen modelos matemáticos que simulan la idoneidad climática de una parcela para las principales especies forestales. Según estos modelos, especies como *P. sylvestris* verán reducida su área climáticamente idónea en la Península, mientras que otras, como *P. halepensis* verán cómo esta se incrementa (Figura 2). En cualquier caso, los modelos no predicen la expansión o desaparición futura de una determinada especie en una zona concreta, sino que únicamente muestran si las condiciones climáticas favorecerían o dificultarían su presencia (WWF, 2012). A falta de un consenso generalizado en cuanto a la validez y utilidad de dicha cartografía, WWF España ha realizado un considerable esfuerzo para poner a disposición pública múltiples mapas de distribución de

especies forestales: http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/adaptacion22/.

La identificación de declives graduales en algunos índices de vegetación obtenidos mediante **teledetección** puede constituir una herramienta útil para la detección temprana de procesos de decaimiento. Igualmente las imágenes de satélite pueden servir para la evaluación posterior de los daños provocados por la sequía (Navarro Cerrillo et al., 2007). Evidentemente, estas técnicas, que constituyen herramientas tanto de planificación como de diagnóstico, han de promoverse desde las Administraciones en colaboración con las asociaciones de propietarios forestales para que sean plenamente operativas para los gestores. En la Tabla I se listan una serie de recursos accesibles a través de Internet sobre otros aspectos útiles relacionados con la vulnerabilidad de los montes españoles al cambio climático.



Fundamentos ecológicos para la gestión

Actualmente, nuestro conocimiento sobre el funcionamiento y la dinámica de los montes ha avanzado. Para anticiparse a los efectos adversos del cambio climático, el gestor cuenta con diversas herramientas, además de los mapas e índices descritos en la sección anterior. A pesar de las incertidumbres sobre las proyecciones climáticas y sobre el conocimiento incompleto de las posibles respuestas de la vegetación, ya existe una base ecológica suficiente para gestionar la transición gradual de nuestros montes hacia un clima

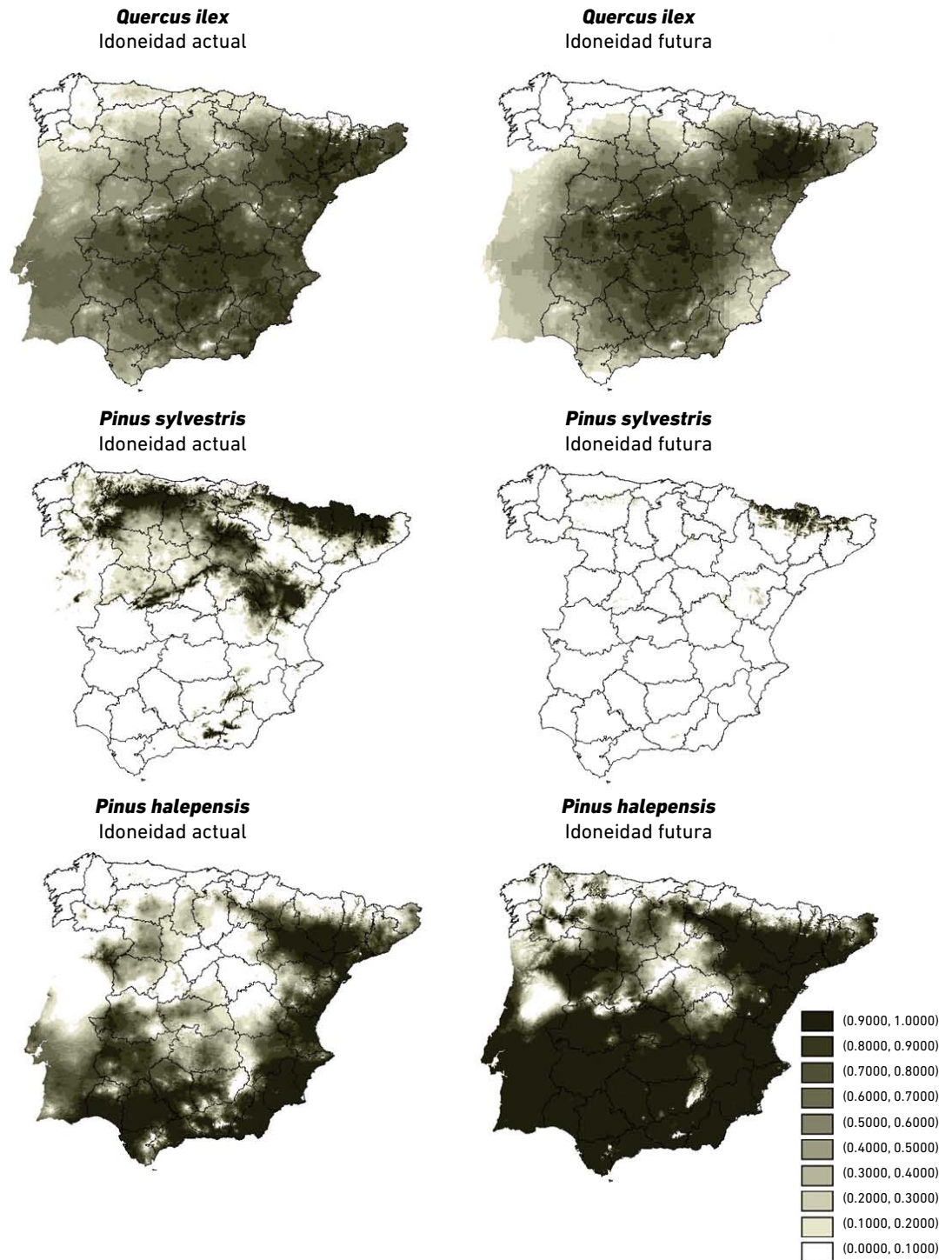


Figura 2. Idoneidad climática actual y futura (período 2050-2080, escenario A2) de tres especies arbóreas representativas de los montes españoles (Ninyerola et al., 2010). Valores cercanos a 1 indican que la parcela es climáticamente apta para la especie. La idoneidad climática varía poco para *Quercus ilex*, disminuye para *Pinus sylvestris* y aumenta para *P. halepensis*

más cálido y seco. Las directrices de una **gestión adaptativa** han de orientarse a minimizar los impactos negativos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos que nos proporcionan los ecosistemas forestales (Bronchalo et al., 2011). Mantenerse a la expectativa, de una forma pasiva o manteniendo una gestión convencional, ante la amenaza real del cambio climático puede llevar al colapso de muchos de estos servicios.

Sobre el terreno, las redes de monitorización de los bosques constituyen herramientas valiosas para afinar en la detección de procesos de decaimiento. A nivel nacional, la red de seguimiento de daños en los bosques permite una evaluación anual del estado de los montes españoles y sus resultados son consultables en Internet (Tabla 1). A nivel regional, también existen programas de monitoreo anual de los bosques, fruto de la colaboración entre investigadores y administración, como la red DeBosCat en Cataluña (En el **Ejemplo 15** se explica cómo gestionar el **Paisaje** en este sentido) o la Red Seda en Andalucía. La combi-

nación de estos detallados datos de campo con capas de información climática o edáfica en sistemas de información geográfica permite, por un lado, evaluar qué especies y zonas son más vulnerables y, por otro, identificar qué parcelas pueden necesitar de actuaciones urgentes de gestión para minimizar los efectos del decaimiento o establecer medidas de restauración (una combinación de diversas medidas para gestión de **Productos No Madereros** se describe en el **Ejemplo 12**).

Las defoliaciones masivas y mortalidades de árboles observadas en las densas plantaciones de coníferas fuera de su nicho climático manifiestan procesos naturales de reducción de densidad, seguramente acelerados por el cambio climático. En estas masas de escasa viabilidad futura, los posibles aclareos quizás lleguen tarde y únicamente en zonas marginales, elevando el riesgo de desertificación. En ellos, tal vez pueda plantearse para evitar la desaparición de la cubierta vegetal. No obstante, es evidente que sin medidas encaminadas a reducir la intensidad de competencia en nuestros

<i>Nombre del recurso</i>	<i>Tipo de recurso</i>	<i>Ámbito geográfico</i>	<i>Enlace</i>
Atlas de idoneidad topoclimática de leñosas	Cartografía	Península Ibérica	http://www.opengis.uab.cat/IdoneitatPI/
Impactos, vulnerabilidad y adaptación de la biodiversidad española al cambio climático. Volumen 1: Flora.	Memoria, Ficha resumen por especie, Cartografía	España	http://secad.unex.es/wiki/libroOECC/
Impactos, vulnerabilidad y adaptación de la biodiversidad española al cambio climático. Volumen 2: Fauna de vertebrados.	Memoria, Ficha resumen por especie, Cartografía	España	http://www.ibiochange.mncn.csic.es/atlascc
Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal	Memoria	España	http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/SECTOR_FORESTAL_DOCUMENTO_COMPLETO_tcm7-185468.pdf
Informe de daños forestales. Red europea de seguimiento de daños en los bosques, Nivel I.	Informes anuales, Manual de métodos	España	http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/montes-y-politica-forestal/redes-europeas-de-danos-en-los-bosques/

Tabla I. Recursos electrónicos relacionados con los aspectos prácticos de la vulnerabilidad de los montes españoles al cambio climático

montes, las especies forestales verán mermada su capacidad de responder al cambio climático (El **Ejemplo 10** muestra cómo calcular la densidad ideal entre los Recursos Hídricos disponibles y la obtención de **Biomasa**). Los bosques menos densos, además, son menos vulnerables a los ataques bióticos y más resilientes ante la incidencia de episodios de sequía extrema. El favorecimiento de masas mixtas e irregulares promueve la estabilidad de las comunidades y facilita su regeneración. En definitiva, se trata de reforzar los mecanismos estabilizadores inherentes al ecosistema forestal y que permiten la adaptación de las comunidades al cambio climático (Lloret, 2012).

Cuando falla la adaptación local, la reducción de la fragmentación de los montes y la creación de corredores ecológicos pueden favorecer la migración de las especies y el flujo génico entre poblaciones, que permitan a ciertas especies sobrevivir a escala regional. Sin embargo, es cierto que las poblaciones de animales y plantas en el límite seco de su distribución carecerán de este flujo de poblaciones “pre-adaptadas” (En el **Ejemplo 11** se describe el caso del pino silvestre, gran productor de **Biomasa**). En este sentido, es necesaria la identificación de las áreas críticas donde se prevén los cambios más drásticos de vegetación. Únicamente en estas zonas, con elevado riesgo de desertificación, se recomendaría la introducción de especies/fenotipos bien adaptados a las condiciones climáticas futuras (colonización o migración asistida), siempre que no interfieran con los procesos de regeneración natural. Al mismo tiempo, es necesario conservar las “**áreas refugio**”, aquellas zonas que mantendrán climas estables o singulares y las que presentan una elevada heterogeneidad ambiental (WWF, 2012). La preservación de estos refugios y su conectividad con el

resto del territorio serán claves para facilitar la adaptación natural de los montes frente a un clima cambiante. Es importante no olvidar que las medidas de adaptación serán insuficientes para la adaptación de los bosques al cambio climático si no van acompañadas de la reducción y mitigación de las emisiones globales de gases invernadero.



Referencias

- Blanco E, Casado MA, Costa M, et al. 1997. Los Bosques Ibéricos: Una Interpretación Geobotánica. Planeta.
- Bronchalo E, Gutiérrez-Teira A, Picatoste JR, Sánchez G. 2011. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Brunet M, Casado MJ, De Castro M, Galán P, López JA, Martín JM, Pastor A, Petisco E, Ramos P, Ribalaygua J. 2009. Generación de Escenarios de Cambio Climático Regionalizados para España. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente.
- Camarero JJ, Lloret F, Corcuera L, Peñuelas J, Gil-Pelegrín E. 2008. Cambio global y decaimiento del bosque. En: Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante, 397–423. Ministerio de Medio Ambiente.
- Carrasco A, Fernández Cancio A, Trapero A, et al. 2009. Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca), Situación del Conocimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- EEME, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. 2011. Síntesis de Resultados. Fundación

Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Muestreo de 2005. Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente.

Felicísimo Á, Muñoz J, Villalba CJ, Mateo RG. 2011. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 1. Flora y Vegetación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Valladares F, Vilagrosa A, Peñuelas J, Ogaya R, Camarero JJ, Corcuera L, Sisó S, Gil-Pelegrín E. 2008. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante, 163–190. Ministerio de Medio Ambiente.

Lloret F. 2012. Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Revista Ecosistemas* 21:85–90.

WWF, World Wildlife Found. 2012. Modelos de Dinámica Forestal como Fuente de Información para la Adaptación de los Bosques al Cambio Climático. Informe de conclusiones del taller WWF, Septiembre de 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Fundación Biodiversidad.

Martínez-Vilalta J, Aguadé D, Banqué M, et al. 2012. Las poblaciones ibéricas de pino albar ante el cambio climático: con la muerte en los talones. *Revista Ecosistemas* 21:15–21.

Ninyerola M, Serra-Díaz JM Lloret F. 2010. Atlas de idoneidad topo-climática de leñosas. Servidor de mapas. Universitat Autònoma de Barcelona. URL: <http://www.opengis.uab.cat/IdoneitatPI/index.html>

Navarro Cerrillo RMM, Varo MA, Lanjeri S, Clemente RH. 2007. Cartografía de defoliación en los pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino salgareño (*Pinus nigra* Arnold.) en la Sierra de los Filabres. *Revista Ecosistemas* 16:163–171.

Peñuelas J, Sabaté S, Filella I, Gracia C. 2008. Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. En: Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante, 425–460. Ministerio de Medio Ambiente.

SPCAN, Servicio de Protección contra Agentes Nocivos. 2006. Inventario UE-ECE de daños forestales en España. Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques. Nivel I. Resultados del