

# LOS BOSQUES Y LA BIODIVERSIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España

*Informe de Evaluación  
Documento de Síntesis*

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático



Esta síntesis debe citarse de la siguiente manera:

Herrero A & Zavala MA (2015) Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Documento de Síntesis. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

# DOCUMENTO DE SINTESIS

## Índice

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	11
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>2. CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	19
<b>3. IMPACTOS Y VULNERABILIDAD</b> .....	21
3.1. Conceptos de impacto y vulnerabilidad.....	21
3.2. Impactos del cambio climático.....	22
3.2.1. Contribución del cambio climático en los impactos.....	22
3.2.2. Impactos en los bosques y la biodiversidad.....	22
3.3. Vulnerabilidad al cambio climático.....	26
3.3.1. Organismos.....	26
3.3.1.1. Procesos ecofisiológicos.....	30
3.3.1.2. Fenología.....	30
3.3.2. Poblaciones.....	30
3.3.2.1. Demografía.....	30
3.3.2.2. Distribución y abundancia de poblaciones.....	31
3.3.3. Comunidad.....	34
3.3.3.1. Cambios en la composición y estructura.....	34
3.3.3.2. Interacciones bióticas.....	35
3.3.4. Ecosistemas.....	36
3.3.4.1. Cambios en el régimen de perturbaciones y extremos climáticos.....	36
3.3.4.2. Funciones ecosistémicas, ciclos biogeoquímicos y recursos hídricos ..	36
3.3.5. Capacidad de adaptación de ecosistemas y organismos.....	37
3.3.5.1. Procesos evolutivos y plasticidad fenotípica.....	38
3.3.5.2. Mecanismos de compensación demográfica.....	38
3.3.5.3. Migración.....	39
3.3.6. Ecosistemas, especies y poblaciones más vulnerables.....	40
3.4. Acciones futuras frente al cambio climático.....	41
<b>4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	42
4.1. Introducción.....	42
4.2. Instrumentos para la adaptación en España.....	43
4.2.1. Contexto e instrumentos legales y administrativos.....	43
4.2.2. Instrumentos de planificación y ejecución.....	46
4.2.3. Financiación y costes de la adaptación.....	50
4.2.4. Actores involucrados y ámbitos de actuación.....	51
4.3. Ejemplos de casos prácticos de adaptación forestal en España.....	52
4.4. Retos en la planificación y ejecución de la ACC en España.....	54
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	56
<b>6. GLOSARIO</b> .....	63
<b>7. ACRÓNIMOS</b> .....	66
<b>8. LISTA DE AUTORES CONTRIBUYENTES</b> .....	67



## ■ RESUMEN EJECUTIVO

### 1) Cambio Climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en su Quinto Informe de Evaluación (IPCC 2013), refuerza los resultados de anteriores informes, y concluye que el cambio climático es inequívoco, que está teniendo lugar ya y continuará en las próximas décadas. En España, se espera un aumento tanto de las temperaturas máximas como de las mínimas a lo largo del siglo XXI. También se proyecta un aumento de la frecuencia de los eventos climáticos extremos relacionados con las temperaturas, como es el caso de las olas de calor. En cuanto a las precipitaciones, se proyecta una ligera reducción del número de días con precipitación y un aumento de la longitud máxima de los periodos secos. El incremento de la duración de los periodos secos y el aumento de las temperaturas auguran un incremento de la frecuencia y severidad de las sequías.

### 2) Impactos del Cambio Climático en los Bosques y la Biodiversidad

En las últimas décadas se han observado diversos impactos (definidos como un efecto específico y cuantificable en los sistemas naturales) asociados al cambio climático que afectan a los bosques y la biodiversidad terrestre de España. Estos impactos, ya sean alteraciones fisiológicas, fenológicas, o demográficas, están modificando tanto la composición de las comunidades como el funcionamiento de los ecosistemas, afectando a servicios clave que proveen los ecosistemas. Además, los cambios en el clima afectan a las interacciones bióticas, alterándolas o estableciendo interacciones hasta ahora inéditas, que a su vez provocan impactos en las poblaciones y comunidades. Sin embargo, cuantificar la contribución del cambio climático en estos impactos resulta complicado, ya que los factores climáticos interactúan comúnmente con otros motores de cambio, afectando a los diferentes organismos. Entre estos motores, se encuentran los cambios en el uso del suelo, la pérdida y fragmentación de hábitats, el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> y de otros gases con efecto invernadero en la atmósfera, el incremento en la fijación y deposición de nitrógeno, y la expansión de especies invasoras. Por lo tanto, la cuantificación de la contribución del cambio climático en los impactos se ve dificultada por sus interacciones con otros motores de cambio.

#### Ejemplos de impactos en los bosques y la biodiversidad

- Adelanto de la foliación y retraso de la caída de la hoja en varias especies arbóreas.
- Alteraciones en la fenología de las migraciones de las aves.
- Aceleración de la duración de las fases larvarias en especies de insectos.
- Decaimiento forestal en diversos bosques españoles: defoliaciones, reducciones en el crecimiento y aumentos en la mortalidad.
- Desplazamientos altitudinales en especies vegetales leñosas y lepidópteros.
- Establecimiento de nuevas interacciones bióticas negativas para diversas especies.

### 3) Vulnerabilidad frente al Cambio Climático

Aparte de los impactos ya registrados y otros que no se han documentado, lo más probable es que se produzcan nuevos impactos en un futuro próximo. La probabilidad de que ocurran estos nuevos impactos se analiza mediante el estudio de la vulnerabilidad, definida como el grado en el que un sistema es susceptible, e incapaz de hacer frente, a los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad consta de tres componentes: *exposición*, *sensibilidad*, y *capacidad de adaptación*. La *exposición* se refiere a la severidad del cambio climático que es probable que experimente una población o especie en una determinada localidad o región, y depende del porcentaje y magnitud del cambio en el clima. La *sensibilidad* es el grado en el que el crecimiento, reproducción, reclutamiento o supervivencia de los individuos de una población (de una determinada especie) dependen del clima, particularmente de variables climáticas que probablemente sufran cambios importantes en un futuro próximo (20-50 años). A nivel de especie, la sensibilidad se puede definir como el grado en el que la persistencia de las diferentes poblaciones que constituyen una especie depende del clima. Por último, la *capacidad de adaptación* se refiere a la capacidad de una especie, o de las poblaciones que la constituyen, de hacer frente al cambio climático persistiendo *in situ*, ocupando microhábitats locales más apropiados, o migrando a regiones climáticamente más favorables. En los recuadros que se presentan a continuación, se describen las principales vulnerabilidades en los bosques y la biodiversidad terrestre para los diferentes niveles de organización biológica y ecológica y los procesos y funciones asociadas.

## Vulnerabilidad frente al cambio climático

### Organismos: procesos ecofisiológicos

- El incremento de la aridez puede afectar a la conductancia hidráulica de muchas especies arbóreas, limitando su capacidad para fijar carbono.
- Las condiciones de sequía y las altas temperaturas pueden provocar la muerte en especies arbóreas, especialmente aquellas poco tolerantes a la sequía.
- El incremento de las temperaturas puede modificar la mortalidad de invertebrados y acelerar su desarrollo larvario.
- El aumento de las temperaturas puede aumentar el ciclo anual de actividad de especies de reptiles.

### Organismos: fenología

- Se prevén cambios adicionales a los ya observados en la foliación, caída de la hoja, floración y fructificación de especies arbóreas.
- Se esperan cambios futuros en la migración de las aves debido a cambios climáticos en las zonas de invernada y reproducción.
- Muchas especies de lepidópteros pueden ver adelantada la fecha de emergencia de larvas y adultos.

### Poblaciones: demografía

- El incremento de la temperatura puede alterar la proporción de sexos en los recién nacidos de algunas especies de reptiles.
- Los años favorables para la regeneración de especies arbóreas pueden verse reducidos.
- El crecimiento de especies arbóreas puede verse reducido y la mortalidad incrementada, principalmente en bosques densos.
- Los individuos jóvenes o de menor tamaño de especies arbóreas son especialmente vulnerables a los efectos de la sequía y al incremento de las temperaturas.
- Es importante considerar los efectos del cambio climático en las diferentes tasas demográficas conjuntamente.

### Poblaciones: distribución y abundancia

- Se prevén desplazamientos altitudinales y latitudinales de las especies en respuesta al cambio climático.
- Las migraciones en altitud pueden suponer una disminución del área potencial de distribución cuando ocurren en áreas de montaña cercanas a las cumbres.
- Las poblaciones situadas en las cotas altitudinales superiores se encuentran entre las más vulnerables, ya que las condiciones climáticas propias de estas zonas dejarán de existir.
- Las migraciones están limitadas por la capacidad de dispersión de las especies y por la distribución de sus hábitats favorables.
- A pesar de sus limitaciones, los Modelos de Distribución de Especies (MDE) proporcionan información relevante sobre la respuesta de las especies al cambio climático.
- Se deben incorporar datos sobre la sensibilidad y la capacidad de adaptación en los MDE para dotarlos de un mayor realismo biológico.
- El uso de los MDE debe complementarse con otras aproximaciones a la hora de diseñar estrategias de actuación ante el cambio climático.

### **Comunidades: estructura y dinámica**

- Los cambios en la composición de las comunidades pueden producirse debido a los cambios en la distribución de las especies y a las respuestas específicas de cada especie frente al estrés climático.
- Las diferencias en reclutamiento entre especies de matorrales y especies arbóreas en condiciones de sequía pueden suponer una progresiva “matorralización” de la montaña mediterránea.
- Los cambios en la composición y estructura de las comunidades pueden afectar al funcionamiento del ecosistema.

### **Comunidades: interacciones bióticas**

- El cambio climático puede modificar interacciones ya existentes o establecer nuevas que afecten negativamente a organismos y ecosistemas.
- Las especies invasoras pueden verse favorecidas debido a su rápida respuesta a los cambios ambientales.
- Los cambios en la fenología pueden desacoplar interacciones del tipo depredador-presa y planta-polinizador que afecten negativamente a organismos y ecosistemas.

### **Ecosistemas: perturbaciones y extremos climáticos**

- Se prevé un aumento en la frecuencia y severidad de las olas de calor y las sequías extremas.
- Se espera un aumento de la frecuencia de los incendios forestales y las plagas asociado a un incremento de las temperaturas.
- Las perturbaciones recurrentes pueden provocar cambios persistentes en las funciones y estructura del ecosistema.

### **Funciones ecosistémicas, ciclos biogeoquímicos y recursos hídricos**

- Durante la primera mitad del siglo XXI los modelos prevén un incremento de la producción forestal en España asociado al incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico, sin embargo, durante la segunda mitad el incremento de la aridez podría reducir la producción forestal.
- La respiración del suelo, componente clave del ciclo del carbono, puede verse afectada por el incremento de las temperaturas y los cambios en las precipitaciones, aunque el efecto de la precipitación podría ser más relevante en el caso de los ecosistemas mediterráneos.
- Las condiciones de sequía y el incremento de la temperatura pueden alterar los ciclos del nitrógeno y del fósforo.
- La cobertura de vegetación y la costra biológica pueden modular los efectos climáticos en los ciclos de nutrientes.
- Las deposiciones atmosféricas de nitrógeno pueden interactuar con los efectos climáticos en los ciclos de nutrientes.
- El aumento de las temperaturas y el descenso de la precipitación estival puede reducir los caudales de estiaje de los ríos españoles en las próximas décadas.
- La gestión forestal puede ayudar a disminuir los efectos negativos del cambio climático en los recursos hídricos.

### **Capacidad de adaptación: procesos evolutivos y plasticidad fenotípica**

- La adaptación local puede favorecer la persistencia de las especies cuando muestran rasgos adaptados a la sequía y al incremento de las temperaturas.
- La diversidad genética de poblaciones y especies puede reducir los efectos negativos del cambio climático mediante la coexistencia de genotipos con distintos grados de tolerancia al estrés ambiental.
- La plasticidad fenotípica permite amortiguar el efecto de los cambios ambientales a lo largo del ciclo de vida de una especie.
- La variación epigenética contribuye a la plasticidad fenotípica y al potencial evolutivo de los individuos y poblaciones.

### **Capacidad de adaptación: mecanismos de compensación demográfica**

- Los mecanismos de compensación demográfica que disminuyen la mortalidad, aumentan la supervivencia y maximizan la regeneración ante eventos climáticos extremos favorecen la estabilidad de las comunidades vegetales.

### **Capacidad de adaptación: migración**

- Se esperan migraciones de las especies hacia latitudes más septentrionales y cotas altitudinales superiores, buscando temperaturas más frescas y ambientes más húmedos.
- También pueden ocurrir desplazamientos hacia micrositios con condiciones ambientales más favorables, como las vaguadas y las exposiciones de umbría.

### **Ecosistemas, especies y poblaciones más vulnerables**

- Los ecosistemas de montaña son especialmente vulnerables al cambio climático debido a sus características de 'islas ecológicas'. Las poblaciones situadas en las cotas altitudinales superiores se encuentran entre las más vulnerables, ya que las condiciones climáticas propias de estas zonas dejarán de existir.
- Las poblaciones situadas en los límites meridionales de distribución y las cotas altitudinales inferiores pueden presentar una alta vulnerabilidad debido a su alta exposición.
- Los anfibios y los reptiles son especialmente vulnerables debido a su limitada capacidad de dispersión, su vulnerabilidad a enfermedades emergentes y su gran dependencia de la temperatura.
- Las especies con un ciclo vital largo en función de su potencial reproductivo pueden tener menos margen para responder al cambio climático con procesos evolutivos.
- Las poblaciones relictas son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su pequeño tamaño poblacional y su aislamiento. Además, con frecuencia se desconoce su existencia.



#### 4) Adaptación al Cambio Climático

Los ecosistemas responden a la variabilidad climática natural y al cambio climático inducido por el ser humano de maneras que pueden resultar tanto adversas como beneficiosas para la sociedad. La **adaptación al cambio climático (ACC)** hace referencia al proceso de ajuste de un sistema a los efectos del clima, tanto del clima real como a los posibles efectos de las proyecciones climáticas. En los sistemas artificiales en los que el control está mayoritariamente ejercido por el ser humano (p. ej. infraestructuras), la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas para la sociedad. En los sistemas naturales (en los que parte del control se debe a procesos físicos y biológicos), la intervención humana pretende facilitar el ajuste a las nuevas condiciones ambientales. Así, la ACC busca promover la resistencia y la resiliencia (definida como la capacidad de recuperar la estructura y función previas a una perturbación) de los ecosistemas frente al cambio climático. Es conveniente planificar y ejecutar las medidas de ACC dentro de un contexto de gestión adaptativa, y permitir así la modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante. De manera similar, las medidas de ACC deben enmarcarse en un contexto de gestión sostenible, ya que el objetivo final de la adaptación es asegurar la preservación y mejora de los procesos y servicios derivados de los ecosistemas. Por último, las medidas de ACC deben aplicarse dentro de una gestión anticipadora, considerando los futuros escenarios de cambio climático, para preservar los servicios ecosistémicos y aprovechar las posibles ventajas asociadas a las dinámicas climáticas proyectadas (p. ej. un aumento de la producción forestal debido al efecto fertilizador del CO<sub>2</sub>). A diferencia de la ACC, que busca paliar los efectos del cambio climático, la mitigación va dirigida a frenar el proceso del cambio climático en sí, a través de la disminución de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Ambos conceptos son complementarios y deben considerarse de manera sinérgica en las estrategias de lucha contra el cambio climático siempre que sea posible.

Existen diversos instrumentos para la ACC: legales, administrativos, de planificación, ejecución, y los relacionados con la financiación. Los principales instrumentos para la ACC en España están asociados a los diferentes actores involucrados en la adaptación, así como a sus correspondientes ámbitos de actuación. Es necesaria una coordinación entre todos los actores involucrados para fomentar la ejecución y aumentar la eficacia de las estrategias y medidas propuestas.

#### Contexto de la ACC e instrumentos legales y administrativos

- El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) y el proceso de negociación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establecen la adaptación como uno de los principales pilares a la hora de gestionar la respuesta al cambio climático.
- La Estrategia Europea de Adaptación es el referente en la política europea de adaptación, y se centra en la promoción de acciones de adaptación en los Estados Miembros de la Unión Europea, el refuerzo del conocimiento y la integración de la adaptación en las políticas comunitarias.
- El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), mediante sus Programas de Trabajo, desarrolla la política de adaptación en España. El PNACC se estructura en cuatro ejes: evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación, integración de la adaptación en la normativa sectorial, movilización de actores clave, y establecimiento de un sistema de indicadores de impactos y adaptación. La potenciación de la investigación, y el refuerzo de la coordinación entre administraciones suponen, además, los dos pilares básicos del PNACC.
- El Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad y el Plan Forestal Español son instrumentos clave para la integración de la adaptación en las normativas sectoriales de biodiversidad y bosques. El actual marco normativo en el ámbito de la biodiversidad prevé suficientes instrumentos aplicables a la planificación y aplicación de las medidas de adaptación.
- AdapteCCa ([www.adaptecca.es](http://www.adaptecca.es)), es la plataforma de intercambio y consulta de información sobre ACC resultante de los trabajos del PNACC, que tiene como objetivo facilitar el intercambio y la consulta de información y promover la comunicación y el trabajo conjunto entre los principales agentes implicados en la adaptación en España.

## Instrumentos de planificación y ejecución

- Los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales y los Planes de Ordenación de los Recursos Forestales son instrumentos clave para la planificación territorial y la gestión forestal sostenible, que deben tener en cuenta el diseño de prácticas de ACC.
- La ordenación forestal tiene una gran potencialidad para la implementación de medidas de ACC, ya que es el instrumento mediante el cual, a través de proyectos de ordenación de montes, planes dasocráticos, planes técnicos o figuras equivalentes, se gestionan los bosques españoles a escalas espaciales ejecutivas y de forma continuada en el tiempo.
- La custodia del territorio puede servir como un instrumento para fomentar el papel de los agentes privados en la implementación de medidas de adaptación.
- La certificación forestal favorece la implementación de medidas específicas de ACC en los bosques españoles.
- La gestión adaptativa fundamentada en la colaboración entre científicos y gestores, basada en un dialogo continuo y constante entre ambos colectivos, es otro instrumento fundamental para la adaptación. El desarrollo de proyectos de adaptación en espacios protegidos o en montes catalogados de utilidad pública supone una buena opción para esta colaboración, ya que muchos de ellos disponen de equipos de gestores y medios económicos propios.
- La silvicultura es una herramienta fundamental para favorecer el ajuste de los ecosistemas forestales frente a los cambios climáticos. La transferencia de conocimientos desde la ecología a la silvicultura es necesaria para el desarrollo de estrategias de adaptación y actuaciones silvícolas que promuevan la resistencia y resiliencia de diversos aspectos de los sistemas forestales. Y también es deseable el flujo en sentido contrario, porque las experiencias forestales prácticas y la reacción de los ecosistemas a ellas son una base fundamental para la progresión de la ciencia ecológica.
- La restauración ecológica puede suponer un importante instrumento para la adaptación, siempre y cuando considere los futuros escenarios climáticos y la incertidumbre asociada. La predicción del aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos en el contexto de cambio climático, exigirá el uso de la restauración ecológica para la recuperación de procesos y servicios ecosistémicos.
- El traslado de material de reproducción, juveniles o individuos adultos dentro, al margen y fuera de la distribución geográfica de las especies con el objetivo de anticiparse a los futuros cambios climáticos, denominada como Migración Asistida (MA), es otro instrumento potencial de adaptación. La investigación sobre adaptación local mediante ensayos de procedencia y análisis genéticos puede resultar de gran ayuda a la hora de aplicar la MA.

## Financiación y costes de la adaptación

- Las inversiones actuales en el ámbito de los bosques y la biodiversidad deben tener en cuenta la ACC. La financiación específica para el diseño y aplicación de estrategias y planes de adaptación es un aspecto clave, ya que en muchas ocasiones será necesaria para cumplir metas y objetivos específicos.
- La estimación de costes de adaptación, definidos como los costes asociados a planificar, preparar, facilitar e implementar medidas de adaptación, es necesaria para una planificación realista que fije prioridades y un análisis de los costes potenciales de los impactos y los beneficios de la adaptación.
- A pesar de los avances realizados en los últimos años en la valoración económica de los servicios ecosistémicos, la carencia de un valor de mercado o la falta de información acerca de las funciones ecológicas que derivan en servicios ecosistémicos, entre otros factores, dificultan la estimación de costes y beneficios en los ecosistemas.
- La **adaptación basada en los ecosistemas** permite determinar un nivel específico de adaptación objetivo (p.ej. un tamaño poblacional para una especie). Los costes de adaptación se calculan como la agregación de los costes unitarios de las medidas de adaptación aplicadas, y los beneficios son evaluados en términos ecológicos o físicos.
- La colaboración entre gestores, ecólogos y economistas resulta beneficiosa a la hora de trabajar la dimensión económica y financiera de la adaptación de los ecosistemas y sus costes.

## ■ Ejemplos de proyectos de ACC en ecosistemas forestales

Proyecto	Localización	Actores involucrados	Actuaciones principales para la ACC (realizadas o proyectadas)	Características adicionales de importancia	Referencia
Gestión forestal adaptativa en Menorca	Isla de Menorca	Reserva de la Biosfera de Menorca, Consejería de Medio Ambiente de las Islas Baleares, centros universitarios y de investigación, agentes sociales de Menorca	Actuaciones forestales a pequeña escala para la adaptación al cambio climático, formación de los actores involucrados, sensibilización de la sociedad	Colaboración científico-gestor, programa de seguimiento de los efectos de las actuaciones, protección legal de especies y ecosistemas	Capítulo 45
Experiencias de manejo adaptativo en pinsapares ( <i>Abies pinsapo</i> ) andaluces	Pinsapares andaluces (Málaga, Cádiz)	Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, centros universitarios y de investigación, administración forestal, agentes locales	Entresacas para aumentar la diversificación estructural, fertilización compensatoria para reducir el estrés contaminante, medidas preventivas de resguardo genético	Colaboración científico-gestor, programa de seguimiento de los efectos de las actuaciones, protección legal de especies y ecosistemas	Capítulo 48
Actuaciones para la adaptación de monte bajo de roble melojo ( <i>Quercus pyrenaica</i> )	Masas de monte bajo de roble melojo ( <i>Quercus pyrenaica</i> ) en la zona del Moncayo (Zaragoza)	Gestores del Parque Natural del Moncayo, investigadores de la Universidad de Zaragoza	Resalveos e intervenciones selvícolas para aumentar el vigor de las masas	Colaboración científico-gestor, programa de seguimiento de los efectos de las actuaciones, protección legal de especies y ecosistemas	Capítulo 49
Naturalización de pinares en Sierra Nevada	Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada (Granada)	Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada, Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, Universidad de Granada	Aclareos con diferentes niveles de intensidad para promover una mayor diversidad y heterogeneidad estructural, desarrollo de un sistema de apoyo a la toma de decisiones	Colaboración científico-gestor, programa de seguimiento de los efectos de las actuaciones, protección legal de especies y ecosistemas	Capítulo 47
Selvicultura para la adaptación en los montes de Castilla y León	Comunidad de Castilla y León	Junta de Castilla y León	Diversos tipos de cortas con el objetivo de disminuir la competencia por los recursos hídricos, aumentar el crecimiento y anticipar la reproducción, cortas de regeneración para fomentar el reclutamiento	Programa de seguimiento de los efectos de las actuaciones	Capítulo 46

La mayoría de los proyectos de adaptación de los ecosistemas al cambio climático acometidos en España se circunscriben al ámbito de la gestión forestal, debido en parte a la gran tradición de la ordenación forestal en España, que facilita la ejecución de medidas de adaptación en este ámbito (ver *Ejemplos de proyectos de ACC en ecosistemas forestales*).

España ha desarrollado un contexto adecuado para el diseño e implantación de estrategias y planes de adaptación mediante los diferentes instrumentos legales y administrativos. Igualmente se han realizado avances importantes en la incorporación de la adaptación en los diferentes sectores y en la planificación transversal de los mismos, así como en el fomento de la coordinación de las diferentes administraciones. A pesar de estos esfuerzos el número de proyectos ejecutados sobre adaptación de los ecosistemas al cambio climático es todavía muy bajo, por lo que resulta necesario afrontar diversos retos que nos hagan avanzar en la planificación y ejecución de medidas de ACC. En este contexto, se hace necesario concretar un nuevo marco administrativo que permita desarrollar y apoyar con medios proyectos de colaboración interdisciplinares, fomentando la colaboración entre Universidades y OPI's y los organismos competentes en gestión medioambiental.

#### **Retos en la planificación y ejecución de la ACC**

- Considerar conjuntamente todos los motores del cambio global (cambio climático, cambios de uso del suelo, expansión de especies invasoras, deposiciones de nitrógeno, etc.).
- Mantener y restaurar los servicios ecosistémicos desde una aproximación dinámica y en un escenario de incertidumbre.
- La gestión adaptativa como marco para la ACC, evaluando de manera continua los efectos de las medidas empleadas para poder replantearlas si fuera necesario.
- Empleo de múltiples herramientas: experimentación, seguimiento de actuaciones, modelos de proyección de impactos, herramientas de toma de decisiones y guías de buenas prácticas.
- Las medidas de ACC deben diseñarse y aplicarse dentro de una gestión anticipadora, considerando los escenarios climáticos futuros, para preservar los servicios ecosistémicos y aprovechar las posibles ventajas asociadas a las dinámicas climáticas proyectadas.
- Colaboración activa entre científicos y gestores: creación de proyectos que consideren simultáneamente objetivos de gestión e investigación.
- Estrategia Europea Horizonte 2020: generar programas de investigación transversales que integren a los diferentes agentes implicados en la adaptación (empresas, ONG's, administraciones públicas, entidades locales, etc.).
- La ordenación forestal como pieza clave para la implementación de medidas de ACC en los ecosistemas forestales, incorporando las nuevas demandas de la sociedad, como la producción de biomasa, la conservación de la diversidad biológica, la mitigación, etc.
- Activar programas de divulgación, sensibilización y formación en todos los actores implicados en la gestión y conservación de los ecosistemas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se enmarca dentro del Tercer Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), que incluye como líneas de actividad la realización de informes periódicos que supongan una revisión, síntesis y evaluación del conocimiento sobre los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en los diferentes sectores, recursos y sistemas considerados vitales para la economía y la población española. En este caso, se analizan conjuntamente los impactos, vulnerabilidad y adaptación de los bosques y la biodiversidad terrestre de España frente al cambio climático. Debido a las múltiples sinergias e interacciones existentes entre los bosques y la biodiversidad terrestre, se hace necesaria una gestión unificada de los mismos, en la que se puedan incorporar medidas de adaptación al cambio climático. Por un lado, los bosques albergan una buena parte de la diversidad biológica terrestre del planeta (FAO 2014), y dicha biodiversidad presta una gran variedad de servicios ecosistémicos de indiscutible valor para el bienestar humano (Millenium Ecosystem Assesment 2005, Gamfeldt et al. 2013). Además, los servicios de regulación (p. ej. regulación hídrica) y de soporte (p. ej. mantenimiento del ciclo de nutrientes) proporcionados por los bosques están interconectados con el funcionamiento de otros ecosistemas terrestres y acuáticos. Así, la evaluación conjunta realizada sobre la biodiversidad terrestre y los bosques permite tener una visión global e integradora de los impactos del cambio climático y la vulnerabilidad, facilitando el establecimiento de medidas de adaptación eficaces.

El presente trabajo sigue en la línea de los últimos informes realizados en el ámbito de la biodiversidad (Araujo et al. 2011, Felicísimo et al. 2011, Capdevilla-Argüelles et al. 2011), y en el sector forestal (Serrada et al. 2011), así como otros informes de ámbito más general (Gutiérrez & Picatoste 2012), todos ellos elaborados en el marco del PNACC. El presente informe incorpora algunos de los trabajos científicos, proyectos de adaptación y enfoques más relevantes en el actual contexto del cambio climático. Sin embargo, no supone una revisión exhaustiva en relación a especies, hábitats, divisiones políticas, importancia de los impactos o grado de vulnerabilidad, sino que está centrado en casos específicos que han sido objeto previo de estudios científicos.

El proyecto para la realización del presente informe de evaluación se inició en 2013, bajo la dirección científica de la Universidad de Alcalá y la coordinación técnica de la Oficina Española del Cambio Climático. En mayo de 2013 se realizó en el Centro Nacional de Educación Ambiental un seminario sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación de los bosques y la biodiversidad de España frente al cambio climático<sup>1</sup>, enmarcado en el Programa de Seminarios Sectoriales del PNACC, que contó con la participación de más de 40 expertos y supuso un sólido punto de partida y base de conocimiento para la elaboración de este informe.

Este informe de evaluación consta de un primer volumen de síntesis y de un segundo volumen con un total de 57 contribuciones (en forma de comunicaciones cortas) escritas por científicos, gestores y miembros de las administraciones públicas y ONGs, todos ellos expertos en biodiversidad, bosques y cambio climático. A pesar de que el informe no supone una revisión exhaustiva, se ha intentado abarcar la mayor parte de temas prioritarios para España y siempre a partir de evidencias científicas.

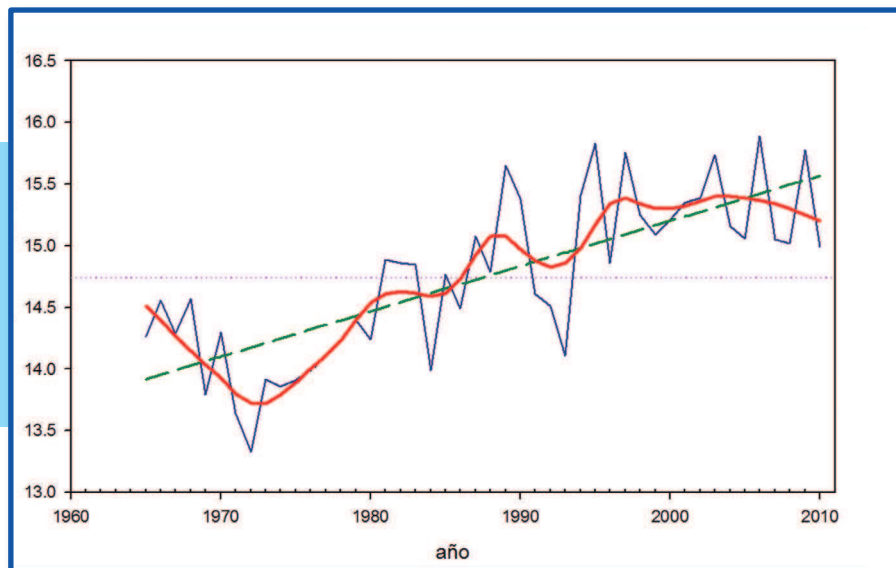
## 2. CAMBIO CLIMÁTICO

- El cambio climático está ocurriendo en la actualidad y continuará en el futuro.
- Durante el siglo XX se ha registrado un aumento de la temperatura media a escala global.
- Para el siglo XXI se proyecta un incremento de las temperaturas máximas y mínimas, así como un aumento en la frecuencia de olas de calor y sequías extremas.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su Quinto Informe de Evaluación (IPCC 2013) refuerza los resultados de informes anteriores, y concluye que el cambio climático es inequívoco, que está teniendo lugar ya y continuará en las próximas décadas. Desde 1950 se han observado cambios en el sistema climático que no tienen precedente, y se ha constatado que la atmósfera y los océanos se han calentado. La temperatura media global muestra un incremento de 0,85 °C (entre 0,65 °C y 1,06 °C) en el periodo 1880-2012. Cada una de las últimas tres décadas ha sido más cálida que todas las anteriores desde 1850, y la primera década del siglo XXI ha sido la más cálida de todas. Respecto a las proyecciones futuras, el IPCC afirma que las emisiones continuadas de gases de efecto invernadero causarán un calentamiento adicional al actualmente existente. En la región Mediterránea tendrá lugar un incremento de temperatura superior a la media global, que podrá experimentar para finales del siglo XXI incrementos medios de 3,8°C y de 6,0°C en los meses invernales y estivales, respectivamente, con respecto a los valores actuales (Capítulo 2).

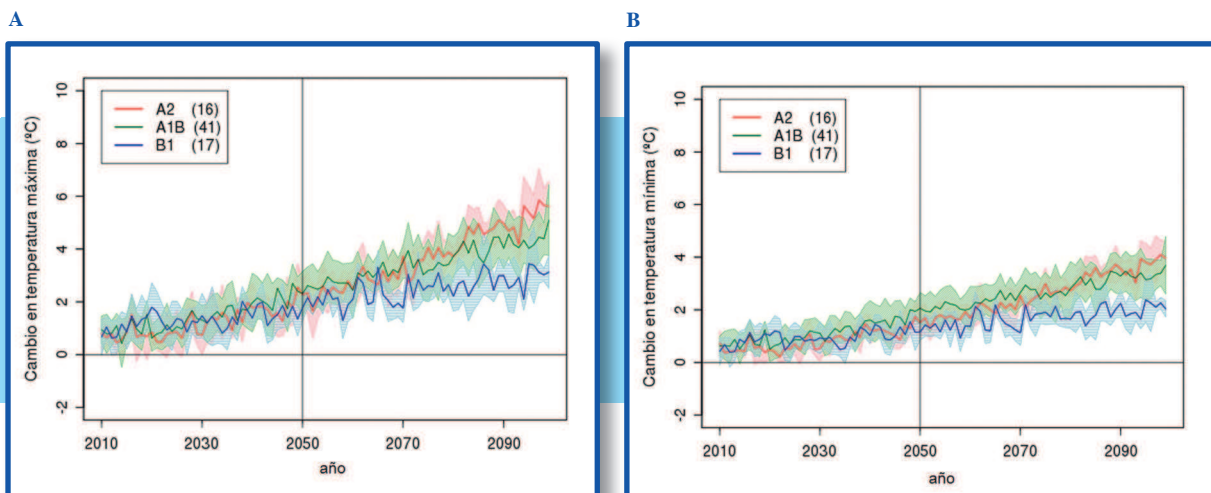
<sup>1</sup><http://www.magrama.gob.es/eu/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/seminarioPNACC/taller-impacto-adaptacion-bosques-cc.aspx>

■ **Figura 1.**



▲ **Figura 1.** Evolución de la temperatura media anual para España peninsular e Islas Baleares para el periodo 1965-2010. Se representan los valores registrados (azul), la serie suavizada con un filtro loess (rojo; basado en un modelo de regresión no paramétrica), y la tendencia lineal de incremento (verde). Fuente: Elaborado a partir de Luna et al. (2012).

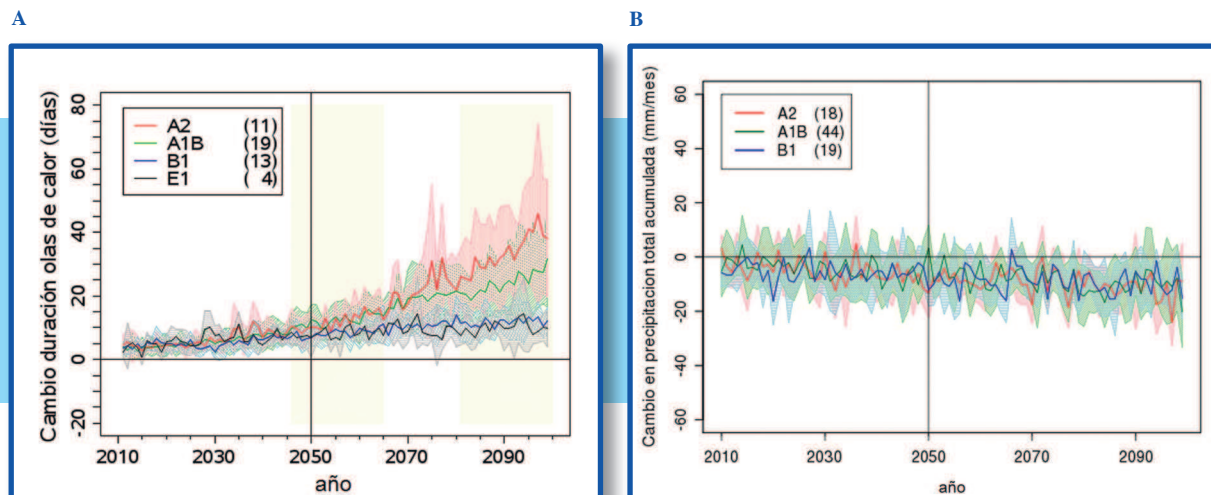
■ **Figura 2.**



▲ **Figura 2.** Proyecciones de cambio de la temperatura máxima diaria (a) y de la temperatura mínima diaria (b). Se muestra el promedio para España peninsular e Islas Baleares a partir de datos integrados producidos por AEMET y por los proyectos ENSEMBLES, ESCENA, ESTCENA respecto al periodo 1961-2000 y para los escenarios de emisión A2, A1B y B1. El sombreado indica su incertidumbre (+/- una desviación típica). Los números en la leyenda, entre paréntesis, indican el número de proyecciones utilizadas. Fuente: [www.aemet.es](http://www.aemet.es)

Una gran parte del territorio español (la España peninsular y las Islas Baleares) muestra tendencias y proyecciones diferenciadas de los promedios globales y regionales, debido principalmente a sus características (posición geográfica, orografía, usos del suelo). En el caso de las proyecciones climáticas regionalizadas, como las realizadas para España, hay que tener en cuenta que, al trasladar información global al detalle regional, se aumenta la incertidumbre de las proyecciones (AEMET 2009). A lo largo del siglo XX se ha observado un incremento de la temperatura media en España (Figura 1) coherente con las proyecciones efectuadas, que muestran una tendencia al aumento tanto de las temperaturas máximas como de las mínimas (Figura 2). También se proyecta un aumento de la frecuencia de los eventos extremos relacionados con las temperaturas, como es el caso de las olas de calor (Figura 3a). Las proyecciones de evolución de la precipitación muestran mayor incertidumbre (Figura 3b), aunque sugieren una reducción más acusada de la misma durante el siglo XXI en las latitudes más bajas y en los meses estivales. En consonancia con esta tendencia hay una ligera reducción del número de días con precipitación, un aumento de la longitud máxima de los periodos secos y de la fracción de la precipitación que cae en los percentiles más altos (i.e. menos precipitaciones pero más intensas; Capítulo 2). El incremento de la duración de los periodos secos y el aumento de las temperaturas auguran un incremento en la frecuencia y severidad de las sequías extremas.

■ **Figura 3.**



▲ **Figura 3.** Proyecciones de cambio en la duración máxima de las olas de calor (a) y del cambio en la precipitación total acumulada anual (expresado en mm/mes; b). Promedio para España peninsular e Islas Baleares a partir de datos integrados producidos por AEMET utilizando métodos estadísticos respecto al periodo 1961-2000 y para los escenarios de emisión A2, A1B, B1 y E1. El sombreado indica su incertidumbre (+/- una desviación típica). Los números en la leyenda, entre paréntesis, indican el número de proyecciones utilizadas. Fuente: [www.aemet.es](http://www.aemet.es)

Por último, cabe destacar que debido a su posición geográfica y su variada orografía España alberga una gran heterogeneidad climática dentro de su territorio. Así, las proyecciones climáticas variarán en las diferentes regiones y localidades, sin embargo su descripción queda fuera de los objetivos del presente trabajo.

### ■ 3. IMPACTOS Y VULNERABILIDAD

#### 3.1. Conceptos de impacto y vulnerabilidad

- Los impactos se definen como efectos específicos y cuantificables atribuibles al cambio climático.
- La vulnerabilidad consta de tres componentes: exposición, sensibilidad, y capacidad de adaptación.
- La exposición se refiere a la severidad del cambio climático que es probable que experimente una población o especie en una determinada localidad o región.
- La sensibilidad es el grado en el que el crecimiento, reproducción, reclutamiento o supervivencia de los individuos de una población (de una determinada especie) dependen del clima predominante. A nivel de especie, la sensibilidad se puede definir como el grado en el que la persistencia de las diferentes poblaciones que constituyen una especie depende del clima.
- La capacidad de adaptación se refiere a la capacidad de una especie, o de las poblaciones que la constituyen, de hacer frente a los efectos negativos del cambio climático.

Los conceptos de impacto y vulnerabilidad tienen un papel central en el contexto del presente informe, ya que ayudan a describir los efectos del cambio climático. Así, **impacto** se define como un efecto específico y cuantificable en los sistemas naturales atribuible (al menos en parte) al cambio climático. En cuanto a la **vulnerabilidad**, el IPCC (2007) la define como el grado en el que un sistema es susceptible, e incapaz de hacer frente, a los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad es un concepto complejo que consta de tres componentes: *exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación*. La exposición se refiere a la severidad del cambio climático que es probable que experimente una población o especie en una determinada localidad o región, y depende del porcentaje y magnitud del cambio en el clima (temperatura, precipitación, etc.; Dawson et al. 2011). La mayoría de las valoraciones de la exposición futura al cambio climático están basadas en proyecciones climáticas a escala global, para lo cual se usan los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (elaborados en los distintos informes del IPCC; 2007, 2013) como datos de entrada en los Modelos Generales de Circulación. Estas proyecciones globales se regionalizan mediante un cambio de escala para obtener proyecciones climáticas en países y regiones concretas (AEMET 2009). Finalmente, las proyecciones regionalizadas se aplican a modelos de distribución potencial de especies (p. ej. de nicho ecológico) con el objetivo de analizar la variación en la distribución geográfica de las condiciones climáticas aptas para la persistencia de las especies.

La *sensibilidad* es el grado en el que el crecimiento, reproducción, reclutamiento o supervivencia de los individuos de una población (de una determinada especie) dependen del clima, particularmente de variables climáticas que probablemente sufran cambios importantes en un futuro próximo (20-50 años; Dawson et al. 2011). Las poblaciones más sensibles serán las que sufran mayores reducciones en el crecimiento, la reproducción, el reclutamiento o la supervivencia

con cambios más pequeños en las variables climáticas. A nivel de especie, la sensibilidad se puede definir como el grado en el que la persistencia de las diferentes poblaciones que constituyen una especie depende del clima. La sensibilidad depende de una variedad de factores, que incluyen factores ecológicos y fisiológicos, y puede ser evaluada mediante estudios empíricos, observacionales y el uso de modelos.

La *capacidad de adaptación* se refiere a la capacidad de una especie, o de las poblaciones que la constituyen, de hacer frente al cambio climático persistiendo *in situ*, ocupando microhábitats locales más apropiados, o migrando a regiones climáticamente más favorables (Dawson et al. 2011). La capacidad de adaptación depende de factores como la plasticidad fenotípica, la diversidad genética, el potencial evolutivo, las historias de vida, y la capacidad de dispersión y colonización. La capacidad de adaptación puede ser evaluada también mediante estudios empíricos, observacionales y el uso de técnicas de modelización.

El concepto de vulnerabilidad empleado en el presente trabajo es similar al empleado en el Cuarto Informe del IPCC (2007) y en la comunidad científica (p.ej. Dawson et al. 2011). Sin embargo, en la contribución del Grupo de Trabajo II (GT II) del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014) se revisa el concepto de vulnerabilidad. La exposición se trata de manera independiente, y la vulnerabilidad incluye la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Además, se introduce el concepto de peligro, definido como la ocurrencia potencial de sucesos o tendencias físicas de origen climático, como pueden ser las sequías extremas o las inundaciones. La interacción entre peligro, exposición y vulnerabilidad determina el riesgo de que una serie de impactos tengan lugar. En el contexto del presente informe no se ha utilizado esta nueva aproximación, ya que el informe se comenzó a elaborar en el año 2013, previamente a la publicación de la contribución del GT II del Quinto Informe del IPCC (2014).

## 3.2. Impactos del cambio climático

### 3.2.1. Contribución del cambio climático en los impactos

- Los impactos del cambio climático pueden modificar la composición de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas.
- La cuantificación de la contribución del cambio climático en los impactos se ve dificultada por su interacción con otros motores de cambio global.

En las últimas décadas se han observado diversos impactos asociados al cambio climático que afectan a los bosques y la biodiversidad terrestre de España. Estos impactos, ya sean alteraciones fisiológicas, fenológicas, o demográficas, están modificando tanto la composición de las comunidades como el funcionamiento de los ecosistemas, afectando así a servicios clave que proveen los ecosistemas. Además, los cambios en el clima afectan a las interacciones bióticas, alterándolas o estableciendo interacciones hasta ahora inéditas, que a su vez provocan impactos en las poblaciones y comunidades. Sin embargo, cuantificar la contribución del cambio climático en estos impactos resulta complicado, ya que los factores climáticos interactúan comúnmente con otros motores de cambio, que afectan a los organismos de diferentes maneras. Entre estos motores, se encuentran de forma destacada los cambios en el uso del suelo, la pérdida y fragmentación de hábitats, el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> y de otros gases con efecto invernadero en la atmósfera, el incremento en la fijación y deposición de nitrógeno, y la expansión de especies invasoras. Estos cambios ambientales producidos por la actividad humana forman parte, junto al cambio climático, del denominado *cambio global*. Bajo la denominación de cambio global se incluyen aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del planeta (Duarte et al. 2006). El cambio climático y los motores de cambio global suelen interactuar negativamente agravando sus efectos, como en el caso de las sequías extremas (cambio climático) en bosques en los que la falta de actuaciones selvícolas ha conducido a densidades arbóreas elevadas (cambios en el uso del suelo), incrementándose así el impacto negativo de la sequía por la competencia entre individuos. En este contexto, la cuantificación de la contribución del cambio climático en los impactos se ve dificultada debido a su interacción con los diferentes motores de cambio global.

### 3.2.2. Impactos en los bosques y la biodiversidad

- Adelanto de la foliación y retraso de la caída de la hoja en varias especies arbóreas.
- Alteraciones en la fenología de las migraciones de las aves.
- Aceleración de la duración de las fases larvarias en especies de insectos.
- Decaimiento forestal en diversos bosques españoles: defoliaciones, reducciones en el crecimiento y aumentos en la mortalidad.
- Desplazamientos altitudinales en especies vegetales leñosas y lepidópteros.
- Establecimiento de nuevas interacciones bióticas negativas para diversas especies.



Los cambios en la fenología suponen uno de los impactos más aparentes, habiéndose registrado cambios en la fecha de la foliación, la caída de la hoja, la floración y la fructificación en varias especies arbóreas del norte de la península ibérica asociados a un incremento de las temperaturas (Peñuelas et al. 2002; ver Tabla 1 y Figura 4). El adelanto de la foliación y el retraso de la caída de la hoja han supuesto un aumento de la duración del periodo vegetativo para estas especies. La fenología de las especies animales también ha registrado cambios asociados a las alteraciones en el clima, como es el caso de las aves migratorias, algunas de las cuales adelantan su llegada a la península en primavera en los años calurosos (Capítulo 9). Además, los insectos pueden ver acelerada la duración de sus fases larvarias, como es el caso de la mariposa blanquita de la col (*Pieris rapae*), cuyos adultos emergen cada vez más temprano (Peñuelas et al. 2002).

■ **Figura 4.**



▲ **Figura 4.** Localización geográfica de algunos de los principales impactos descritos por la comunidad científica en la España peninsular y Baleares. Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se han registrado alteraciones en el crecimiento y en la mortalidad de algunas especies forestales asociadas al cambio climático reciente. En coníferas, se han detectado disminuciones en el crecimiento radial de individuos tanto en repoblaciones como en bosques naturales (Capítulos 18, 19 y 20). Estas reducciones en el crecimiento se deben muchas veces a la interacción entre cambios en la gestión forestal y factores climáticos (Tabla 1). El abandono de las prácticas agrícolas y forestales tradicionales y el despoblamiento del medio rural en general han conllevado una reducción de las actividades selvícolas, lo que ha resultado en la proliferación de bosques con altas densidades en muchas zonas de España. En estas masas forestales con densidades elevadas tiene lugar una alta competencia por los recursos, especialmente por el agua (Vilà-Cabrera et al. 2011). Las condiciones de sequía aumentan el estrés hídrico del arbolado, lo que provoca reducciones del crecimiento (Capítulos 18, 19 y 20). Otros aspectos históricos de la gestión forestal pueden haber influido en las respuestas actuales, como es el caso de las talas intensas realizadas en algunos abetares ibéricos, que pudieron inducir una selección negativa al favorecer genotipos más vulnerables a la sequía o alterar el microclima del bosque (Capítulo 18). Junto a las reducciones en el crecimiento, se han descrito defoliaciones (que reducen el vigor de los individuos afectados) y episodios de mortalidad asociados al cambio climático (ver Tabla 1). Este conjunto de impactos (reducción del crecimiento, defoliación y mortalidad) se ha denominado decaimiento forestal (Camarero et al. 2008), siendo posiblemente el cambio climático uno de los principales factores que contribuyen al decaimiento. Por último, las plagas y patógenos contribuyen también al decaimiento forestal, al atacar a individuos previamente debilitados por el clima o la competencia exacerbada por los cambios en la gestión forestal (Tabla 1).

Otro impacto de gran relevancia es el cambio en la distribución de las especies asociado al desplazamiento de las condiciones climáticas favorables para su persistencia (Parmesan & Yohe 2003). En el caso de las especies vegetales, se han detectado ascensiones altitudinales para el haya (*Fagus sylvatica*) en el Montseny (Cataluña; Peñuelas et al. 2007) y para el enebro común (*Juniperus communis*) y el piorno serrano (*Cytisus oromediterraneus*) en la Sierra de Guadarrama (Sistema Central; Capítulo 5). El incremento de las temperaturas parece ser uno de los factores causantes de estas migraciones, junto a cambios en el uso del suelo que pueden favorecer o reducir la regeneración y el crecimiento a determinadas cotas (como la disminución de la carga ganadera o la reducción de la quema controlada del monte para generar pastos). En especies animales, se ha detectado una ascensión altitudinal y una reducción del área de distribución de varias especies de lepidópteros en la Sierra de Guadarrama asociado al aumento de las temperaturas (Capítulo 12). Durante las últimas décadas también se han descrito desplazamientos geográficos en varias especies de réptiles, tanto latitudinales (hacia el norte del límite septentrional de su distribución) como altitudinales (hacia cotas más altas; Capítulo 8).

■ **Tabla 1.**

Impacto	Factor climático	Motores de cambio adicionales	Interacciones bióticas	Referencia bibliográfica
<b>Cambios fenológicos (plantas):</b> Adelanto de la foliación y retraso de la caída de las hojas de varias especies arbóreas del norte de la península.	Incremento de las temperaturas.	----	----	Peñuelas et al. (2002)
<b>Cambios fenológicos (animales):</b> Adelanto de la fecha de llegada a España de aves migratorias.	Incremento de las temperaturas. Cambio Climático en los cuarteles de invernada o cría en otros países.	----	----	Capítulo 9
<b>Decaimiento forestal:</b> Defoliación y reducción en el crecimiento de abetares ( <i>Abies alba</i> ) en Pirineos.	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos. Hongo patógeno: <i>Melampsorella caryophyllacearum</i>	Capítulo 18
<b>Decaimiento forestal:</b> Disminución del crecimiento y aumento de la mortalidad en pinsapares ( <i>Abies pinsapo</i> ) ibéricos.	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos. Hongo patógeno: <i>Heterobasidion abietinum</i>	Capítulo 19
<b>Decaimiento forestal:</b> Disminución del crecimiento en bosques de pino laricio ( <i>Pinus nigra</i> ) del sur de la península.	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	----	----	Capítulo 19
<b>Decaimiento forestal:</b> Defoliación y descensos en el crecimiento en repoblaciones de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) y pino laricio ( <i>P. nigra</i> ) del sureste de la península.	Incremento de las temperaturas y reducción de la precipitación de primavera.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos.	Capítulo 20
<b>Decaimiento forestal:</b> Mortalidad masiva de juveniles de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) y pino laricio ( <i>P. nigra</i> ) en Sierra Nevada.	Eventos de sequía extrema.	----	----	Herrero et al. (2013)
<b>Decaimiento forestal:</b> Defoliación, disminución del crecimiento y aumento de la mortalidad en poblaciones de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) en Cataluña.	Eventos de sequía extrema. Incremento de la temperatura .	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos. Planta hemiparásita: muérdago ( <i>Viscum álbium</i> )	Capítulo 21

▲ **Tabla 1.** Impactos observados en los ecosistemas terrestres asociados al cambio climático. Se detalla el impacto (definido como un efecto específico y cuantificable), el factor climático responsable, los motores de cambio adicionales y las interacciones bióticas que contribuyen al efecto, en caso de que existan. Por último, se especifica el capítulo del informe o la referencia bibliográfica en la que se puede profundizar acerca del impacto.

■ **Tabla 1 (continuación).**

Impacto	Factor climático	Motores de cambio adicionales	Interacciones bióticas	Referencia bibliográfica
<b>Migración:</b> Ascenso altitudinal del haya ( <i>Fagus sylvatica</i> ) en el Montseny.	Incremento de las temperaturas.	Cambios de uso forestal y agrario.	---	Peñuelas et al. (2007)
<b>Migración:</b> Ascenso altitudinal del enebro común ( <i>Juniperus communis</i> ) y el piorno serrano ( <i>Cytisus oromediterraneus</i> ) en la Sierra de Guadarrama.	Incremento de las temperaturas mínimas.	Reducción de la carga ganadera.	Reducción de los daños por herbivoría.	Capítulo 5
<b>Migración:</b> Ascenso altitudinal y contracción del área de distribución de varias especies de lepidópteros en la Sierra de Guadarrama.	Incremento de las temperaturas.	---	---	Capítulo 12
<b>Migración:</b> Desplazamientos latitudinales y altitudinales en varias especies de réptiles en las últimas décadas.	Incremento de las temperaturas.	---	---	Capítulo 8
<b>Plaga forestal:</b> Defoliaciones y disminuciones en el crecimiento en bosques meridionales de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) provocadas por la procesionaria del pino ( <i>Thaumetopoea pityocampa</i> ).	Incremento de las temperaturas.	---	El incremento de las temperaturas invernales favorece la supervivencia de las larvas de la procesionaria del pino ( <i>Thaumetopoea pityocampa</i> ).	Capítulo 22 Hódar et al. (2003)
<b>Enfermedad emergente:</b> Mortalidad masiva en varias especies de anfibios mediada por un hongo patógeno en las Sierras de Guadarrama y Tramontana.	Incremento de las temperaturas.	---	El incremento de las temperaturas favorece al hongo patógeno <i>Batrachochytrium</i> sp. que ocasiona la muerte de anfibios.	Capítulo 7

▲ **Tabla 1.** Impactos observados en los ecosistemas terrestres asociados al cambio climático. Se detalla el impacto (definido como un efecto específico y cuantificable), el factor climático responsable, los motores de cambio adicionales y las interacciones bióticas que contribuyen al efecto, en caso de que existan. Por último, se especifica el capítulo del informe o la referencia bibliográfica en la que se puede profundizar acerca del impacto.

Por último, existen impactos mediados por el cambio climático en las interacciones bióticas. Es el caso de la quitridiomycosis, una enfermedad emergente causada por hongos patógenos del género *Batrachochytrium* de origen desconocido. Estos hongos se han visto favorecidos por el aumento de las temperaturas de las masas de agua donde se reproducen las especies de anfibios. El calentamiento del agua ha provocado el incremento de la virulencia de este hongo alóctono produciendo eventos de mortalidad masiva en varias especies de anfibios en la Sierra de Guadarrama y en la Sierra de Tramontana (Sistema Central e Islas Baleares, respectivamente; Capítulo 7). Otro ejemplo de cómo afectan estos cambios a las interacciones lo tenemos en las montañas de Sierra Nevada (Granada), donde el cambio climático ha propiciado el establecimiento de una interacción biótica inexistente en las últimas décadas. El incremento de las temperaturas invernales en los últimos años ha favorecido la supervivencia de las larvas de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) en invierno, durante su fase de crecimiento, lo que permite su ascenso a cotas más altas ocupadas por el pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Actualmente, el pino silvestre sufre defoliaciones, que pueden provocar reducciones en el crecimiento e incluso la muerte de los individuos cuando suceden de manera reiterada, por parte de un agente con el que antes no interactuaba (Hódar et al. 2003).

### 3.3. Vulnerabilidad al cambio climático

La exposición de la península ibérica al cambio climático a medida que avance el siglo XXI será cada vez más elevada, con fuertes incrementos de la temperatura y disminuciones en la precipitación estival, sobre todo en la mitad sur (Beniston et al. 2007, Giorgi & Lionello 2008). Así, resulta vital estudiar la vulnerabilidad de especies y ecosistemas para poder prever efectos futuros y diseñar estrategias de gestión adecuadas para la adaptación. En esta sección se analiza la vulnerabilidad al cambio climático de distintos niveles de organización, desde el individuo hasta el ecosistema. También se consideran los distintos procesos y mecanismos de adaptación y resiliencia, que pueden disminuir la sensibilidad del organismo o sistema al cambio, o adaptarlos a las nuevas condiciones ambientales. En la Tabla 2 se resumen algunas de las principales vulnerabilidades al cambio climático de los ecosistemas terrestres en España.

#### 3.3.1. Organismos

##### 3.3.1.1. Procesos ecofisiológicos

- El incremento de la aridez puede afectar a la conductancia hidráulica de muchas especies arbóreas, limitando su capacidad para fijar carbono.
- Las condiciones de sequía y las altas temperaturas pueden provocar la muerte en especies arbóreas, especialmente aquellas poco tolerantes a la sequía.
- El incremento de las temperaturas puede modificar la mortalidad de invertebrados y acelerar su desarrollo larvario.
- El aumento de las temperaturas puede aumentar el ciclo anual de actividad de especies de reptiles.

El cambio climático puede afectar directamente a la fisiología de los organismos, ya que muchos procesos fisiológicos dependen directamente de la temperatura y de la disponibilidad hídrica. En las especies arbóreas, el futuro incremento de la aridez y los eventos de sequía pueden afectar a la conductancia hidráulica (i.e. la capacidad de transportar agua de las raíces a las hojas por unidad de superficie) de muchas especies, limitando su capacidad para fijar carbono debido a un estricto control estomático. Bajo condiciones de sequía severa, se pueden producir procesos de embolia por cavitación (i.e. obstrucción del camino hidráulico de las raíces a las hojas) que pueden marchitar partes de la copa tal y como se ha visto en individuos de haya o roble melojo (*Quercus pyrenaica*; Capítulos 13, 14). En casos extremos, estos procesos pueden incluso provocar la muerte del individuo (Martínez-Vilalta & Piñol 2002). Por otro lado, el aumento de las temperaturas y las olas de calor incrementan la tasa de respiración de las especies arbóreas haciéndolas susceptibles de sufrir un desequilibrio en el balance de carbono (ya que las ganancias no pueden compensar las pérdidas debido a las limitaciones en la fijación de carbono), a la vez que aumentan su vulnerabilidad frente los efectos de la embolia por cavitación (McDowell et al. 2011). La vulnerabilidad a la cavitación y un balance de carbono negativo bajo condiciones de sequía y altas temperaturas, pueden acarrear la muerte del arbolado tanto en su fase juvenil como adulta (Tablas 1 y 2). Estos efectos son más probables en las especies menos tolerantes a la sequía, como es el caso de especies eurosiberianas (p. ej. haya y pino silvestre).

En cuanto a las especies animales, cabe destacar el caso de los invertebrados cuyo metabolismo depende en gran medida de la temperatura. El incremento de las temperaturas puede aumentar la supervivencia de los individuos cuando ésta se haya limitada por las temperaturas mínimas, tal y como se ha visto en el caso de la procesionaria del pino (Capítulo 22). Además, el desarrollo larvario, dependiente de la temperatura, se verá acelerado por el calentamiento (Peñuelas et al. 2002). Otros organismos con una fuerte dependencia de la temperatura ambiental son los reptiles, los cuales pueden aumentar su ciclo de actividad anual debido al incremento de las temperaturas, por lo que podrán disponer de más tiempo para su alimentación y reproducción (Capítulo 8).

■ Tabla 2.

Vulnerabilidad	Factor climático	Motores de cambio adicionales	Interacciones bióticas	Referencia bibliográfica
Disminución de la conductancia hidráulica en las poblaciones meridionales del haya ( <i>Fagus sylvatica</i> ).	Incremento de las temperaturas y de la demanda evaporativa.	----	----	Capítulo 13
Disminución de la conductancia hidráulica y procesos de cavitación en montes bajos de varias especies de <i>Quercus</i> .	Incremento de las temperaturas y de la demanda evaporativa.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos. Edad de la parte hipogea y del rebrote.	Capítulo 14
Desplazamientos altitudinales/latitudinales y aumento del periodo anual de actividad de reptiles ibéricos.	Incremento de las temperaturas.	----	----	Capítulo 8
Incremento de la incidencia de la procesionaria del pino ( <i>Thaumetopoea pityocampa</i> )	Incremento de las temperaturas.	Cambios en la gestión forestal.	Hábitat adecuado que facilita la propagación de la procesionaria: masas forestales densas y coetáneas.	Capítulo 22
Aumento de la mortalidad en bosques ibéricos.	Incremento de las temperaturas y la aridez.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos.	Capítulo 16
Defoliaciones, reducciones en el crecimiento y la regeneración, y aumentos de la mortalidad en poblaciones de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ).	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos. Planta parásita: muérdago ( <i>Viscum album</i> ). Hongo patógeno: <i>Onnia tomentosa</i> .	Capítulo 21
Reducciones en el crecimiento de bosques de pino resinero ( <i>Pinus pinaster</i> ).	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	----	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos.	Capítulo 26
Reducción de la productividad forestal en los bosques ibéricos durante la segunda mitad del siglo XXI.	Incremento de la aridez.	Cambios en la gestión forestal.	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos.	Capítulo 27

▲ **Tabla 2.** Vulnerabilidades de los ecosistemas terrestres asociadas al cambio climático. Se detalla la vulnerabilidad, el factor climático involucrado, y los motores de cambio adicionales e interacciones bióticas que contribuyen a la vulnerabilidad en caso de ser relevantes. Por último se especifica el capítulo del informe o la referencia bibliográfica en la que se puede profundizar acerca de la vulnerabilidad.

■ **Tabla 2 (continuación).**

Vulnerabilidad	Factor climático	Motores de cambio adicionales	Interacciones bióticas	Referencia bibliográfica
Limitaciones en el crecimiento y en la regeneración de especies arbóreas y arbustivas en la montaña mediterránea.	Sequía estival e incremento de la aridez.	----	----	Capítulo 15
Ascensión altitudinal de especies herbáceas en la Sierra de Guadarrama.	Incremento de la aridez.	----	----	Capítulo 4
Reducciones en los rangos de distribución de especies arbóreas en la península ibérica.	Incremento de la temperatura. Cambios en los patrones de precipitación.	Cambios en la gestión forestal.	----	Capítulo 36
Reducciones en el área de distribución de aves reproductoras de la península ibérica.	Incremento de la temperatura. Cambios en los patrones de precipitación.	Cambios en el uso del suelo.	----	Capítulo 33
Defoliaciones y reducciones en el crecimiento en bosques de pino silvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> ) asociadas al parasitismo del muérdago ( <i>Viscum album</i> ) y su interacción con las sequías.	Incremento de las temperaturas invernales. Incremento en la frecuencia y severidad de sequía extremas.	----	Planta parásita: muérdago ( <i>Viscum album</i> ).	Capítulo 23
Expansión de especies invasoras.	Incremento de la temperatura. Cambios en los patrones de precipitación.	Cambios en el uso del suelo.	----	Capítulo 24
Reducción de los caudales de estiaje en los ríos de la península ibérica.	Incremento de las temperaturas y reducción de la precipitación estival.	Cambios en la gestión forestal.	----	Capítulo 28
Alteraciones en los ciclos de nutrientes y cambios en la limitación por nutrientes en los suelos de la península ibérica.	Incremento de las temperaturas y reducción de la precipitación estival.	Cambios en la gestión forestal.	Cambios en la composición de la materia orgánica. Cambios en la cobertura arbórea, arbustiva y de la costra biológica. Especies invasoras.	Capítulo 29

▲ **Tabla 2.** Vulnerabilidades de los ecosistemas terrestres asociadas al cambio climático. Se detalla la vulnerabilidad, el factor climático involucrado, y los motores de cambio adicionales e interacciones bióticas que contribuyen a la vulnerabilidad en caso de ser relevantes. Por último se especifica el capítulo del informe o la referencia bibliográfica en la que se puede profundizar acerca de la vulnerabilidad.

■ **Tabla 2 (continuación).**

Vulnerabilidad	Factor climático	Motores de cambio adicionales	Interacciones bióticas	Referencia bibliográfica
Incremento del peligro y riesgo de incendios en España.	Incremento de las temperaturas. Cambios en los patrones de precipitación.	Cambios en la gestión forestal.	Procesos de decaimiento y mortalidad forestal. Cambios en la producción forestal.	Capítulo 34
Reducciones de efectivos en las poblaciones sedentarias de curruca capirotada ( <i>Sylvia atricapilla</i> ).	Incremento de la temperaturas Cambios en los patrones de precipitación.	Cambios en el uso del suelo: destrucción de hábitat.	Competencia con las poblaciones migradoras de curruca capirotada.	Capítulo 10
Reducciones de efectivos en poblaciones relictas de especies arbóreas.	Incremento de las temperaturas y la aridez.	Cambios en el uso del suelo: transformación del paisaje.	Cambios en las interacciones bióticas: plagas y patógenos.	Capítulo 3

▲ **Tabla 2.** Vulnerabilidades de los ecosistemas terrestres asociadas al cambio climático. Se detalla la vulnerabilidad, el factor climático involucrado, y los motores de cambio adicionales e interacciones bióticas que contribuyen a la vulnerabilidad en caso de ser relevantes. Por último se especifica el capítulo del informe o la referencia bibliográfica en la que se puede profundizar acerca de la vulnerabilidad.

### 3.3.1.2. Fenología

- Se prevén cambios adicionales a los ya observados en la foliación, caída de la hoja, floración y fructificación de especies arbóreas.
- Se esperan cambios futuros en la migración de las aves debido a cambios climáticos en las zonas de invernada y reproducción.
- Muchas especies de lepidópteros pueden ver adelantada la fecha de emergencia de larvas y adultos.

El aumento de la temperatura ha alterado la fenología de muchas especies tal y como ya se ha visto en la sección de impactos (Peñuelas et al. 2002, Capítulo 9). En el futuro se pueden esperar cambios adicionales en el comienzo de la foliación, la caída de la hoja, floración y fructificación. De la misma manera, se pueden esperar más cambios en los patrones de migración de aves, asociados al cambio climático tanto en las zonas de invernada como en las de reproducción (Capítulo 9). Muchas especies de lepidópteros pueden ver adelantada la fecha de emergencia de larvas y adultos, tal y como se ha visto en varias especies debido a una aceleración del desarrollo larvario (Peñuelas et al. 2002, Capítulo 22).

## 3.3.2. Poblaciones

### 3.3.2.1. Demografía

- El incremento de la temperatura puede alterar la proporción de sexos en los recién nacidos de algunas especies de reptiles.
- Los años favorables para la regeneración de especies arbóreas pueden verse reducidos.
- El crecimiento de especies arbóreas puede verse reducido y la mortalidad incrementada, principalmente en bosques densos.
- Los individuos jóvenes o de menor tamaño de especies arbóreas son especialmente vulnerables a los efectos de la sequía y al incremento de las temperaturas.
- Es importante considerar los efectos del cambio climático en las diferentes tasas demográficas conjuntamente.

El crecimiento de los individuos, el reclutamiento y la mortalidad son componentes claves de la dinámica demográfica de las poblaciones, que están siendo afectados por el cambio climático (ver sección 3.2.2. *Impactos en los bosques y la biodiversidad*) y que pueden sufrir alteraciones adicionales durante las próximas décadas. En el caso de las especies animales, la dinámica demográfica puede verse afectada por un aumento de las temperaturas, como es el caso de algunas especies de réptiles (varias especies de quelonios, salamanquesas y eslizones), en las que la temperatura de incubación determina el sexo de los recién nacidos. Así, el calentamiento global puede provocar la ausencia en el ambiente de la temperatura pivotal, definida como la temperatura de incubación del nido que produce una razón de sexos equilibrada. Esto conlleva un desequilibrio en la proporción de machos y hembras, lo cual afecta a la dinámica poblacional (Capítulo 8).

En cuanto a las especies vegetales, el aumento de la aridez y de la frecuencia de sequías extremas puede disminuir la capacidad de regeneración de muchas especies arbóreas y arbustivas (Capítulo 15). La regeneración de estas especies, sobre todo de aquellas con mayores requerimientos hídricos, está fuertemente limitada por la alta mortalidad por sequía de plántulas y juveniles de corta edad durante la época estival. Así, los eventos de regeneración exitosos se dan fundamentalmente en años especialmente favorables (p. ej. años con precipitaciones superiores a la media). El incremento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación pueden disminuir el número de años favorables o ventanas temporales para la regeneración de especies arbóreas y arbustivas (Capítulo 15).

El incremento de las temperaturas y de la frecuencia de años secos puede resultar así mismo en reducciones en el crecimiento y aumentos de la mortalidad en especies arbóreas (Capítulos 18, 19, 20 y 21), debido en gran medida a desequilibrios en el balance hídrico y de carbono (McDowell et al. 2011). Estos efectos son más frecuentes e intensos en bosques con altas densidades arbóreas, donde existe una alta competencia por los recursos hídricos que acentúa el estrés causado por la sequía. Estudios recientes constatan que los bosques más densos presentan mayores tasas de mortalidad (Capítulo 16) y reducciones más severas del crecimiento (Capítulo 26). Sin embargo, el tamaño del árbol puede modular estas respuestas, ya que los árboles de mayor tamaño presentan una menor mortalidad y una sensibilidad menor en el crecimiento frente a periodos secos, probablemente gracias a un sistema radicular más desarrollado (Capítulos 16 y 26). Estos patrones son típicos de bosques relativamente jóvenes en etapas de exclusión competitiva (Vayreda et al. 2012), donde la mortalidad es más elevada (Ruiz-Benito et al. 2013). Muchas masas forestales en España podrían encontrarse en una fase de exclusión competitiva, ya sea por la falta de tratamientos selvícolas en repoblaciones (Madrigal 1998) o como resultado de procesos de sucesión secundaria en masas naturales (p. ej. en campos abandonados). Sin embargo, el



incremento de las temperaturas y el aumento en la intensidad y frecuencia de las sequías podría exacerbar las reducciones en el crecimiento del arbolado, predisponer procesos de decaimiento e incluso aumentar la mortalidad.

En contraste con los bosques templados y mediterráneos, las comunidades vegetales de zonas semiáridas podrían presentar una mayor resiliencia en el reclutamiento y el crecimiento frente a cambios en la precipitación (Capítulo 17). Sin embargo, debido a la longevidad de muchas especies arbustivas y arbóreas, es necesario realizar experimentos y seguimientos a largo plazo para analizar debidamente los posibles efectos del cambio climático en las tasas demográficas de especies vegetales, tanto en ecosistemas semiáridos como en ecosistemas templados y mediterráneos.

Las dinámicas poblacionales de las diferentes especies serán el resultado de la integración de las diferentes tasas demográficas y del efecto del cambio climático sobre ellas. Así, si una población de una determinada especie ve disminuida su regeneración y aumentada su mortalidad debido al incremento de aridez, su tamaño disminuirá. Este puede ser el caso de las poblaciones ibéricas de pino silvestre situadas en zonas secas (p. ej. Prades, Tarragona), donde ya se han detectado fuertes limitaciones en la regeneración en poblaciones con síntomas de decaimiento (Capítulo 21). Sin embargo, en otras poblaciones los incrementos en la mortalidad pueden verse compensados por un aumento de la regeneración (p. ej. debido a una liberación de recursos), lo cual promueve la resiliencia del bosque frente al cambio climático (Capítulo 31). Esto sugiere la necesidad de profundizar en el conocimiento de la respuesta de las diferentes especies y ecotipos a los principales factores ambientales que inciden sobre su desarrollo a lo largo de su ontogenia.

### 3.3.2.2. Distribución y abundancia de poblaciones

- Se prevén desplazamientos altitudinales y latitudinales de las especies en respuesta al cambio climático.
- Las migraciones en altitud pueden suponer una disminución del área potencial de distribución cuando ocurren en áreas de montaña cercanas a las cumbres.
- Las poblaciones situadas en las cotas altitudinales superiores se encuentran entre las más vulnerables, ya que las condiciones climáticas propias de estas zonas dejarán de existir.
- Las migraciones están limitadas por la capacidad de dispersión de las especies y por la distribución de sus hábitats favorables.
- A pesar de sus limitaciones, los Modelos de Distribución de Especies (MDE) proporcionan información relevante sobre la respuesta de las especies al cambio climático.
- Se deben incorporar datos sobre la sensibilidad y la capacidad de adaptación en los MDE para dotarlos de un mayor realismo biológico.
- El uso de los MDE debe complementarse con otras aproximaciones a la hora de diseñar estrategias de actuación ante el cambio climático.

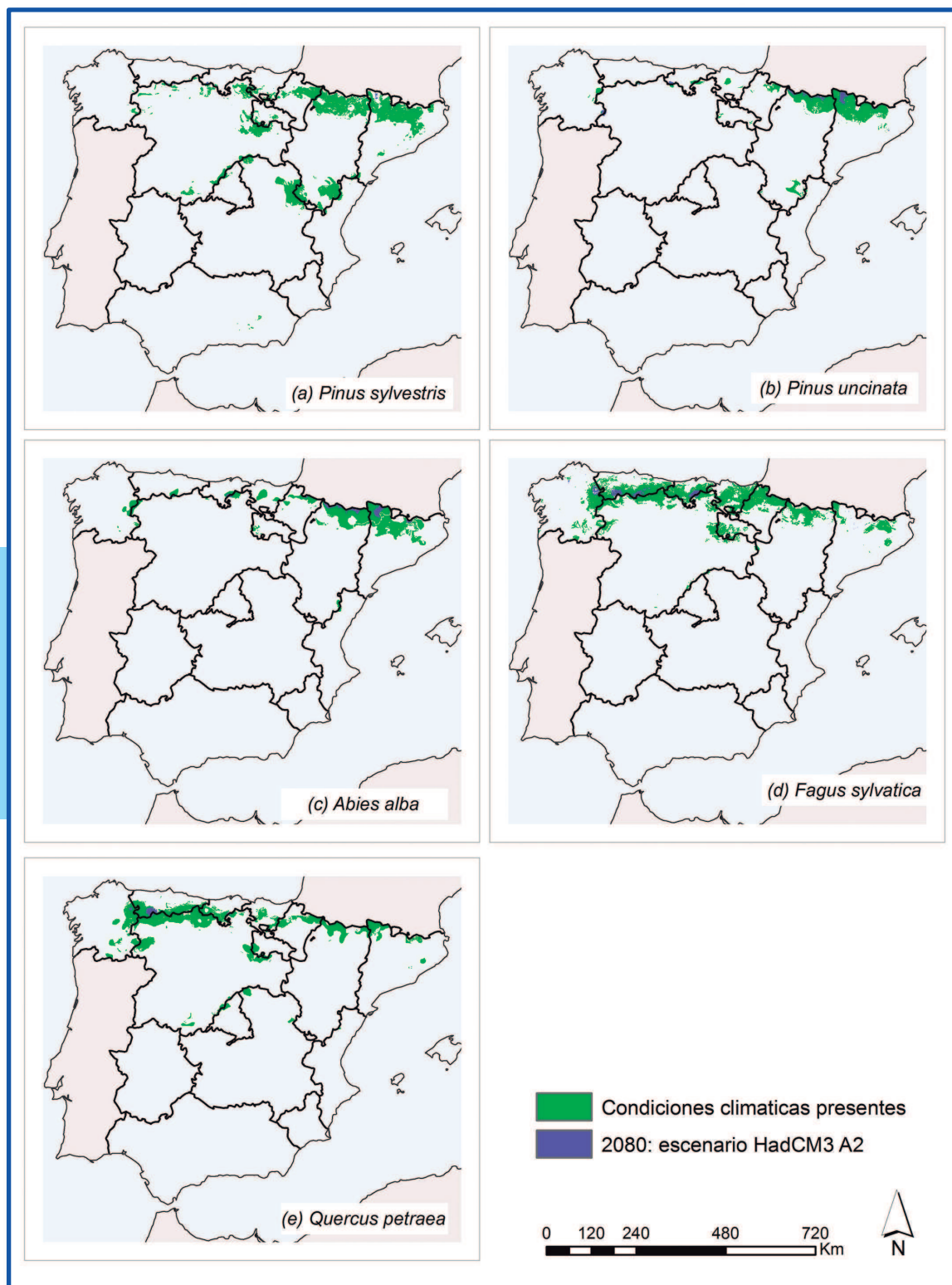
Los cambios en la distribución y abundancia de las poblaciones son efectos del cambio climático constatados en diversas zonas del mundo, incluyendo España (Parmesan & Yohe 2003; Tabla 1). Además, se prevé que durante las próximas décadas estos efectos se intensifiquen para determinadas especies y regiones. Estos cambios, asociados al desplazamiento de las condiciones climáticas favorables para la persistencia de las especies, pueden ocurrir mediante la migración de las especies o debido a extinciones locales en el frente de retroceso. En la península ibérica, las cotas altitudinales inferiores y las latitudes meridionales, donde las condiciones de sequía y el incremento de las temperaturas dificultan la persistencia de algunas especies, representan el frente de retroceso. Estudios recientes en la Sierra de Guadarrama han constatado que algunas especies herbáceas son capaces de reclutar en ambientes contrastados (en cuanto a humedad y temperatura) a lo largo del gradiente altitudinal, mientras que otras especies se reproducen mejor a mayor altitud (bajo condiciones más frescas y húmedas; Capítulo 4). Es importante considerar que las migraciones en altitud pueden suponer una disminución del área potencial de distribución de las especies, cuando estas ocurren en áreas de montaña cercanas de las cumbres. Además, las poblaciones situadas en las cotas altitudinales superiores se encuentran entre las más vulnerables, ya que las condiciones climáticas propias de estas zonas dejarán de existir. Por otro lado, algunos autores han sugerido que incluso si el hábitat potencial no desapareciera muchos endemismos de montaña podrían desaparecer debido a procesos de hibridación con especies procedentes de altitudes inferiores (Gómez et al. 2015).

Las migraciones están condicionadas por la capacidad de dispersión de las especies, que a menudo es limitada, como ocurre en el caso de especies de herbáceas (Capítulo 4) y de reptiles (Capítulo 8). A pesar de que muchas especies animales pueden presentar una mayor capacidad de dispersión que las plantas, su migración está limitada por la distribución de hábitats favorables y su conectividad. Los cambios en el uso del suelo han fragmentado y reducido la presencia de los diferentes hábitats, y dificultan de esta manera la migración de las especies. Además, la alteración del hábitat de muchas especies de hongos, como por ejemplo la modificación de la vegetación dominante, puede acarrear extinciones locales y disminuir su área de distribución (Capítulo 6).

Se ha hecho un gran esfuerzo por intentar predecir los cambios en la distribución de las especies bajo los futuros escenarios climáticos mediante el uso de técnicas de modelización, en concreto los denominados Modelos de Distribución

de Especies (MDE). En concreto, los modelos de nicho o modelos bioclimáticos han sido ampliamente utilizados para evaluar posibles cambios en la distribución de las especies como resultado del cambio climático. Estos modelos son correlacionales y asumen que el principal factor subyacente a la distribución espacial de un organismo es el clima. Presuponen además que la distribución de las especies se encuentra en equilibrio con las condiciones climáticas actuales y que factores como la competencia o la dispersión juegan un papel secundario. A partir de estos supuestos, asumen que la distribución de las especies bajo nuevas condiciones climáticas será un resultado de esta correlación y que la nueva distribución se ajustará al nuevo patrón climático. Según estos modelos muchas especies verán fuertemente reducida su distribución potencial en la península ibérica tal y como sugiere la elevada exposición de nuestro territorio al cambio climático (Araújo et al. 2011, Felicísimo et al. 2011, Benito-Garzón et al. 2008; ver Figura 5 para un ejemplo).

■ **Figura 5.**



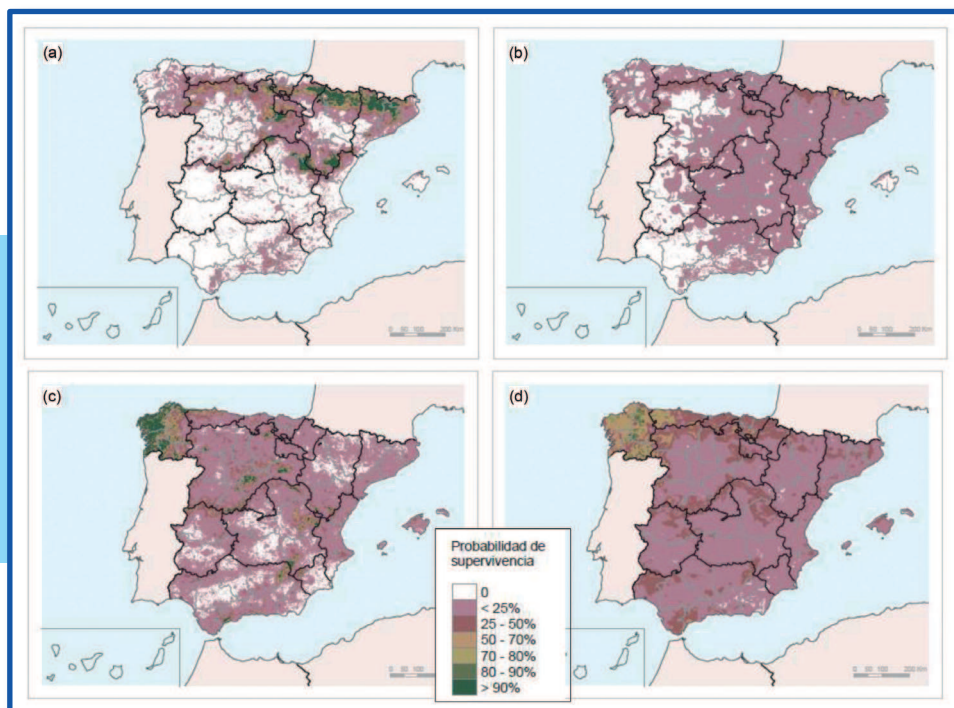
▲ **Figura 5.** Mapas con la distribución potencial actual y potencial futura para el año 2080 (bajo el escenario HadCM3 A2) de las especies: (a) pino silvestre (*Pinus sylvestris*), (b) pino negro (*Pinus uncinata*), (c) abeto (*Abies alba*), (d) haya (*Fagus sylvatica*), y (e) roble albar (*Quercus petraea*). Fuente: Benito-Garzón et al. (2008).

Los modelos de nicho proporcionan una información indispensable sobre la posible respuesta de las especies al cambio climático. No obstante, sus proyecciones deben ser interpretadas con cautela a la hora de establecer estrategias de actuación ante el cambio climático y siempre en combinación con otras aproximaciones. Por un lado estos modelos analizan únicamente la exposición al cambio climático sin tener en cuenta los otros dos componentes de la vulnerabilidad, la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Otro inconveniente es su dependencia de la calidad de la información sobre la distribución de la especie (Capítulo 35). Así, el habitual sesgo en los datos de presencia y la falta de datos de ausencia fiables limitan su capacidad predictiva. La robustez de sus predicciones está, por tanto, condicionada a la existencia de bases de datos exhaustivas con toda la información disponible sobre de la distribución y ecología de una determinada especie (Capítulo 35). Debido a la interesante información que proporcionan estos modelos y su extendido uso es imprescindible conocer sus principales limitaciones, así como interpretar adecuadamente sus predicciones y rango de aplicabilidad.

Los modelos de nicho han estimulado el desarrollo de modelos de distribución de especies con un mayor realismo biológico, que incorporan información sobre la sensibilidad de las especies en diferentes estadios demográficos (p. ej. regeneración, crecimiento y mortalidad), su capacidad de adaptación (p. ej. adaptación local) o su capacidad dispersiva (ver una revisión en el Capítulo 36). Así, Benito-Garzón et al. (2011) mostraron que la inclusión en el modelo de información sobre la plasticidad fenotípica y la adaptación local de las especies resultaba en reducciones menores en el rango de distribución de varias especies arbóreas, debido a la capacidad de algunos ecotipos de tolerar las nuevas condiciones ambientales (Figura 6). Igualmente, tal y como se ha discutido en la sección 3.3.2.1. (*Demografía*), son las dinámicas demográficas las que en última instancia determinan los cambios de distribución. En este contexto, en el caso de las especies forestales, Benito-Garzón et al. (2013) demostraron que a pesar del posible incremento en el crecimiento de los árboles por el alargamiento del periodo vegetativo y la fertilización por CO<sub>2</sub>, los límites meridionales de distribución se verán limitados por incrementos en las tasas de mortalidad, principalmente en especies eurosiberianas. En otro estudio realizado con aves, donde también se incorporaron al modelo datos de sensibilidad y adaptación, se constató que algunas de las especies con mayor exposición (y por tanto con una expectativa de reducción de su rango de distribución) poseen características biológicas que les pueden ayudar a persistir en mejores condiciones que otras especies menos expuestas (Capítulo 33). Además, el estudio identificó una gran proporción de especies de aves que todavía no se encuentran amenazadas pero que podrían estarlo en el futuro. Por lo tanto, la exposición y la sensibilidad no tienen por qué coincidir (es decir, no siempre las especies más expuestas van a ser las más sensibles; Figura 7), por lo que es deseable analizar de forma independiente los diferentes componentes de la vulnerabilidad.

Los modelos de poblaciones dinámicos y espacialmente explícitos permiten estimaciones más realistas de la distribución de las especies, aunque su aplicación puede estar más limitada por la disponibilidad de datos. Este es el caso de los modelos de metapoblaciones, que permiten medir y simular los procesos de colonización y extinción local, considerando la distancia entre las poblaciones y las características ambientales de los lugares donde ocurren estos eventos demográficos (García-Valdés et al. 2013). La ventaja de estos modelos radica en que consideran el grado de equilibrio entre la distribución de las especies y el clima, es decir, si la especie está expandiéndose, retrocediendo o en equilibrio. De esta manera, se separa el efecto de la dinámica de la especie y del cambio climático. Un estudio llevado a cabo con especies forestales ampliamente distribuidas en la península ibérica (incluyendo especies templadas, sub-mediterráneas

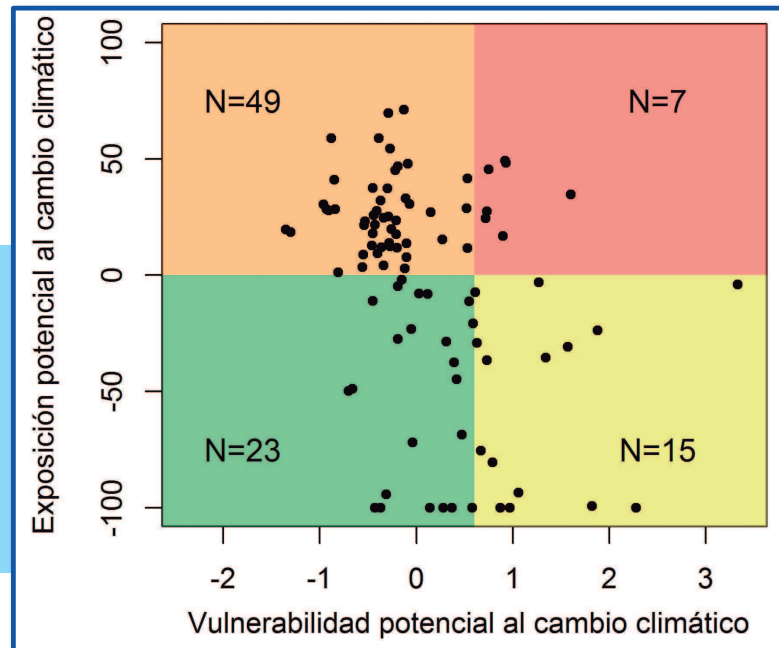
■ **Figura 6.**



▲ **Figura 6.** Probabilidad de supervivencia para el escenario de cambio climático HadCM3 A2 en el año 2080 considerando juntas todas las procedencias de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y pino resinero (*P. pinaster*) (a y b respectivamente, adaptado de Benito-Garzón et al. 2011) y calibrando el modelo sin considerar las diferentes procedencias (c y d respectivamente, adaptado de Benito-Garzón et al. 2008).

y mediterráneas) concluye que muchas de estas especies se encuentran inmersas en un proceso de expansión, propiciado por cambios en el uso del suelo y en la gestión forestal o incluso por una dinámica postglaciaria. Es decir, no habría habido tiempo suficiente desde la última glaciación para que algunas especies alcancen un equilibrio con el clima actual y por tanto su distribución potencial en la península ibérica (García-Valdés et al. 2013). El cambio climático podría afectar a esta dinámica de expansión de manera diferente según la localización actual de las poblaciones y las características funcionales de cada especie. Así, mientras que algunas especies, como el pino carrasco (*Pinus halepensis*), verían su expansión acelerada por el cambio climático, otras como el pino laricio (*Pinus nigra*) lo verán ralentizado (Figura 8).

■ **Figura 7.**



▲ **Figura 7.** Diagrama de análisis de riesgo al cambio climático. Este gráfico presenta los valores del grado de exposición potencial al cambio climático en el eje vertical y los valores de la vulnerabilidad potencial ante este cambio en el eje horizontal para 94 especies de aves. El potencial de vulnerabilidad (predisposición a ser afectadas por el cambio climático) fue calculado considerando las características biológicas de las especies y su estado de conservación según la IUCN. El eje de exposición potencial se dividió entre valores por debajo de cero (especies que expanden su rango, es decir, que ganan) y especies por encima de cero (especies que contraen su rango, es decir, que pierden). La “zona verde” está ocupada por especies que se espera que expandan su rango en el futuro y que tienen baja vulnerabilidad. La “zona amarilla” está ocupada por especies que ya están amenazadas pero no se espera que se vean muy afectadas por el cambio climático. La “zona naranja” está representada por especies que no están consideradas como amenazadas todavía pero se espera que tengan un alto y negativo grado de exposición al cambio climático. Finalmente, la “zona roja” es donde las especies tienen al mismo tiempo un alto grado de exposición al cambio climático y vulnerabilidad al mismo. Fuente: Modificado a partir de Triviño et al. (2013).

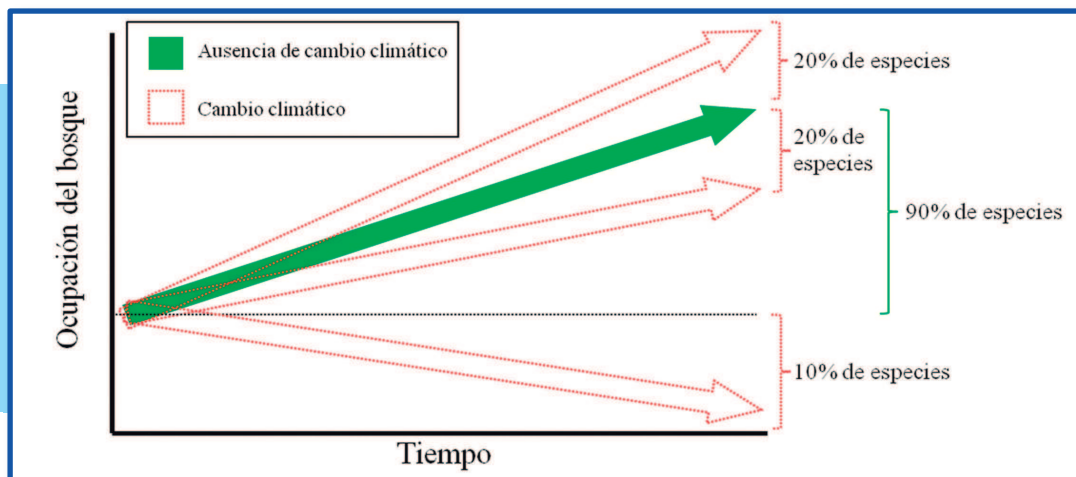
### 3.3.3. Comunidad

#### 3.3.3.1. Cambios en la composición y estructura

- Los cambios en la composición de las comunidades pueden producirse debido a los cambios en la distribución de las especies y a las respuestas específicas de cada especie frente al estrés climático.
- Las diferencias en reclutamiento entre especies de matorrales y especies arbóreas en condiciones de sequía pueden suponer una progresiva “matorralización” de la montaña mediterránea.
- Los cambios en la composición y estructura de las comunidades pueden afectar al funcionamiento del ecosistema.

El cambio climático puede provocar cambios en la composición y estructura de las comunidades mediante cambios en la distribución de las especies o respuestas específicas de cada especie frente al estrés climático. Así, las especies menos vulnerables a la sequía pueden ver aumentada su dominancia en las comunidades bajo escenarios de sequías recurrentes. En bosques mixtos de pino silvestre y pino laricio, la mayor vulnerabilidad del pino silvestre frente a eventos de sequía extrema puede favorecer un cambio en la dominancia hacia el pino laricio (Herrero et al. 2013, Herrero & Zamora 2014). Estudios experimentales de reducción de lluvia mostraron como algunas especies arbóreas pueden ver reducida su capacidad reproductiva (Sánchez-Humanes & Espelta 2011) y cómo especies de matorrales pioneros regeneran mejor que las especies arbóreas en condiciones de sequía, especialmente en zonas abiertas y de matorral, lo que puede llevar a una progresiva “matorralización” de la montaña mediterránea (Capítulo 15). En este caso, el cambio en la composición conlleva un cambio en la estructura de la comunidad, pasando de formaciones boscosas a otras de matorral. Estos cambios de composición y estructura de la comunidad vegetal pueden a su vez afectar al funcionamiento del ecosistema, como es el caso del reciclaje de nutrientes y los procesos edáficos (Capítulo 29).

■ **Figura 8.**



▲ **Figura 8.** Grado de ocupación del bosque por distintas especies arbóreas bajo la influencia del cambio climático, y la ocupación que tendrían si no hubiera cambio climático. El 90% de las especies analizadas tendrían distribuciones mayores en el futuro que en la actualidad si el cambio climático no se produjera. Un 20% de estas especies aumentarían su ocupación debido al cambio climático por encima de los valores que tendrían sin cambio climático; otro 20% aumentaría con cambio climático en relación a la ocupación actual, pero alcanzarían valores menores que en ausencia de cambio climático; y un 10% disminuirían su ocupación debido al cambio climático en relación a los valores actuales. Un 50% de las especies analizadas no cambiarían significativamente su dinámica de expansión, cambie o no el clima. Por lo tanto, el cambio climático puede alterar los cambios previstos en la distribución de las especies forestales, disminuyendo, en muchos casos, su expansión. Se han considerado las 10 especies arbóreas más abundantes de España según el Inventario Forestal Nacional: pino silvestre (*Pinus sylvestris*), pino piñonero (*P. pinea*), pino laricio (*P. nigra*), pino carrasco (*P. halepensis*), pino resinero (*P. pinaster*), roble carballo (*Quercus robur*), roble albar (*Q. petraea*), roble melojo (*Q. pyrenaica*), quejigo (*Q. faginea*) y encina (*Q. ilex*). Se utilizó un modelo estocástico dinámico de ocupación de teselas para el cálculo de las predicciones de ocupación por parte de las especies, considerando sus dinámicas de colonización y extinción (García-Valdés et al. 2013). Para estimar el cambio climático potencial en la región se empleó el escenario WRE750 (Wigley et al. 1996).

### 3.3.3.2. Interacciones bióticas

- El cambio climático puede modificar interacciones ya existentes o establecer nuevas que afecten negativamente a organismos y ecosistemas.
- Las especies invasoras pueden verse favorecidas debido a su rápida respuesta a los cambios ambientales.
- Los cambios en la fenología pueden desacoplar interacciones del tipo depredador-presa y planta-polinizador que afecten negativamente a organismos y ecosistemas.

Las interacciones bióticas son fundamentales a la hora de estructurar las comunidades y determinar su composición. El cambio climático puede modificar las interacciones bióticas ya existentes o establecer nuevas. El aumento de las temperaturas incrementará la incidencia de muchos patógenos y plagas, favoreciendo su desarrollo y disminuyendo su mortalidad (Capítulos 7, 22). Estos cambios pueden propiciar el establecimiento de nuevas interacciones, ya que los organismos que constituyen plagas o los patógenos podrán sobrevivir en nuevas zonas donde anteriormente las condiciones eran desfavorables. Este es el caso de la procesionaria del pino en Sierra Nevada (Granada), que ha establecido una nueva interacción con el pino silvestre en las últimas décadas (Hódar et al. 2003). El efecto combinado de las defoliaciones por procesionaria y de las sequías extremas (p. ej. la sequía de 2005; Herrero et al. 2013) pueden resultar en reducciones severas del crecimiento radial (Linares et al. 2014). Otro caso de interacción influenciada por el cambio climático es la protagonizada por el muérdago (*Viscum album*), una planta hemiparásita que puede ver aumentada su abundancia debido al incremento de las temperaturas de invierno y la expansión de las aves que dispersan sus semillas (Capítulo 23). La infestación de muérdago altera el balance de carbono y la regulación hídrica del árbol huésped, afectando a la frondosidad de la copa y al crecimiento. Estudios recientes realizados en varias poblaciones de pino silvestre han demostrado que sequía y muérdago afectan sinérgica y negativamente al crecimiento de los árboles, fomentan la defoliación y aumentan el riesgo de mortalidad (para ejemplos en el Sistema Ibérico, Teruel, ver Capítulo 23; para los Pirineos Centrales, Lleida, ver Galiano et al. 2010).

Las especies invasoras, aquellas que son introducidas por el ser humano fuera de su área nativa de distribución y que se naturalizan y expanden, suponen también el establecimiento de nuevas interacciones en la comunidad. En muchas ocasiones ejercen una fuerte competencia con las especies nativas, llegando incluso a desplazarlas y provocando cambios en la composición de la comunidad. Existe una gran incertidumbre sobre el posible efecto del cambio climático en las especies invasoras, lo que depende en gran medida de sus características específicas, aunque en general parecen gozar de una cierta ventaja por su capacidad de responder rápidamente a los cambios ambientales (Capítulo 24). Además, el cambio climático puede alterar las limitaciones fisiológicas de especies introducidas que han permanecido en estado latente o cuyas poblaciones son muy pequeñas (Capítulo 5). Hay que tener en cuenta también las interacciones con los cambios en el uso del suelo, ya que las áreas más perturbadas antrópicamente suelen ser las zonas más invadidas.

Por último, los cambios en la fenología inducidos por el clima pueden desacoplar interacciones ya existentes. Así, si el cambio climático afecta de manera diferencial a la fenología de dos especies para una interacción determinada, se puede producir una desincronización temporal que extinga dicha interacción o la dificulte. Estos desajustes fenológicos pueden afectar a las interacciones planta-polinizador (Doi et al. 2008), depredador-presa (Lehikoinen et al. 2013) y parásito-huésped (Schwartzberg et al. 2014). El desajuste de la interacción puede ser también espacial, debido al desplazamiento geográfico de las condiciones climáticas favorables para las especies que toman parte en la interacción (Kuhlmann et al. 2012, Polce et al. 2014). La pérdida de interacciones bióticas puede afectar a la persistencia de las especies, mediante su influencia en la reproducción y alimentación de las mismas, y al funcionamiento del ecosistema, a través de sus efectos en las cadenas tróficas. Detectar estos desajustes en las interacciones es muy complicado, debido a las dificultades metodológicas y al conocimiento requerido sobre la historia natural de las especies que toman parte en una interacción concreta. Sin embargo, en España existen varios estudios que alertan sobre esta posibilidad. Así, Santandreu & Lloret (1999) evidenciaron la importancia de la actividad de los polinizadores en el tiempo y en el espacio para el éxito reproductivo del brezo de invierno (*Erica multiflora*). Bonal et al. (2012) demostraron que desajustes fenológicos entre la producción de bellotas y la de sus principales insectos depredadores (*Curculio spp.*), mediados por la temporalidad de las precipitaciones, pueden afectar a la intensidad de depredación de estas semillas. Finalmente, las alteraciones de la fecha de llegada a España de aves migratorias pueden provocar desajustes en relación a la disponibilidad de presas y alimento para las mismas (Capítulo 9).

### 3.3.4. Ecosistemas

#### 3.3.4.1. Cambios en el régimen de perturbaciones y extremos climáticos

- Se prevé un aumento en la frecuencia y severidad de las olas de calor y las sequías extremas.
- Se espera un aumento de la frecuencia de los incendios forestales y las plagas asociado a un incremento de las temperaturas.
- Las perturbaciones recurrentes pueden provocar cambios persistentes en las funciones y estructura del ecosistema.

En el contexto de cambio climático se espera un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos (p. ej. olas de calor) y perturbaciones, ya sean perturbaciones abióticas (p. ej. incendios) o bióticas (p. ej. defoliaciones masivas). Entre los eventos climáticos extremos, se espera un aumento en la frecuencia y severidad de las olas de calor y de las sequías extremas en España (Capítulo 2, FIC 2006, Briffa et al. 2009), las cuales pueden desencadenar eventos de decaimiento y mortalidad forestal. Los modelos de peligro y riesgo de incendios forestales apuntan a un incremento en la frecuencia de incendios en las próximas décadas asociado al incremento de las temperaturas, cambios en las precipitaciones y la acumulación de combustible (Capítulo 34). Los incendios recurrentes pueden alterar la composición y estructura de la vegetación. Sin embargo, un incremento continuado de la aridez podría disminuir la producción vegetal y la acumulación de combustible, reduciendo en parte la frecuencia de incendios. Por último, las perturbaciones bióticas representadas por plagas y patógenos pueden ver también incrementada su frecuencia debido al incremento de las temperaturas que favorecerá el desarrollo de muchos de estos organismos. De esta manera, los ecosistemas pueden verse expuestos a un régimen de perturbaciones recurrentes, lo que deja poco margen para la recuperación, y aumentan así las probabilidades de que se produzcan cambios persistentes que alteren sus funciones y su estructura.

#### 3.3.4.2. Funciones ecosistémicas, ciclos biogeoquímicos y recursos hídricos

- Durante la primera mitad del siglo XXI los modelos prevén un incremento de la producción forestal en España asociado al incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico, sin embargo, durante la segunda mitad el incremento de la aridez podría reducir la producción forestal.
- La respiración del suelo, componente clave del ciclo del carbono, puede verse afectada por el incremento de las temperaturas y los cambios en las precipitaciones, aunque el efecto de la precipitación podría ser más relevante en el caso de los ecosistemas mediterráneos.
- Las condiciones de sequía y el incremento de la temperatura pueden alterar los ciclos del nitrógeno y del fósforo.
- La cobertura de vegetación y la costra biológica pueden modular los efectos climáticos en los ciclos de nutrientes.
- Las deposiciones atmosféricas de nitrógeno pueden interactuar con los efectos climáticos en los ciclos de nutrientes.
- El aumento de las temperaturas y el descenso de la precipitación estival puede reducir los caudales de estiaje de los ríos españoles en las próximas décadas.
- La gestión forestal puede ayudar a disminuir los efectos negativos del cambio climático en los recursos hídricos.

Los ciclos biogeoquímicos pueden verse profundamente afectados por el cambio climático, lo cual puede influir de manera notoria en las funciones ecosistémicas, como la producción primaria (función de soporte) o el reciclaje de nutrientes (función de regulación). El ciclo del carbono (C) ha sido alterado por las emisiones antrópicas y los cambios en el uso del suelo, lo que ha aumentado la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. El CO<sub>2</sub> atmosférico puede ejercer un papel fertilizador en la producción primaria ya que es uno de los sustratos en la fotosíntesis. Así, los modelos basados en procesos fisiológicos proyectan un aumento de la producción forestal durante la primera mitad de este siglo debido al efecto fertilizante del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico. Sin embargo, durante la segunda mitad, el incremento de la aridez puede provocar una disminución de la producción, que puede verse agravada por efectos de decaimiento y mortalidad forestal (Capítulo 27). Es de vital importancia tener en cuenta los efectos de la gestión forestal (extracción de madera, resinación) en estas proyecciones, ya que estos pueden enmascarar la importancia del papel fertilizador del CO<sub>2</sub> atmosférico (Capítulo 26). Así mismo, es necesario considerar que estas proyecciones pueden variar a pequeña escala debido a factores locales y que una gestión forestal adecuada puede reducir los efectos negativos del cambio climático en la producción forestal (Capítulo 25).

Después de la producción primaria, la respiración del suelo supone el flujo de C más importante en los ecosistemas terrestres, por lo que es un componente importante del balance global del C (Schimel 1995). Las tasas de respiración del suelo son sensibles a diferentes factores ambientales, especialmente a la temperatura y la precipitación (Philipps et al. 2011). En general, se espera que un aumento de las temperaturas incremente la respiración del suelo, aunque este efecto puede estar modulado por los patrones de precipitación (Thomey et al. 2011). En los ecosistemas mediterráneos españoles con una marcada sequía estival, la precipitación tiene un efecto mucho mayor que la temperatura en la respiración del suelo, incrementándola tanto a escala diaria como estacional (con grandes diferencias entre la primavera húmeda y el verano seco; Matías et al. 2011). Por lo tanto, en los ecosistemas mediterráneos, los cambios en la precipitación podrían tener un efecto mucho mayor sobre la respiración que los cambios en la temperatura. La cobertura vegetal también puede afectar de manera importante, ya sea de manera directa (debido a la respiración de las raíces y a mayores aportes de hojarasca) o indirecta (por el microclima más húmedo y umbrío que genera).

El ciclo de otros elementos también podría verse alterado por el cambio climático, aunque sus efectos pueden ser diferentes en los distintos ambientes de la península ibérica. Es importante considerar que el reciclaje de nutrientes representa una función de soporte fundamental para los ecosistemas y que su alteración por el cambio climático puede afectar a otras funciones relacionadas (en el caso del nitrógeno y el fósforo pueden afectar a la producción primaria, ya que son fundamentales para el crecimiento vegetal) y a la estructura del ecosistema (los cambios en la disponibilidad de nutrientes pueden favorecer distintas especies vegetales; Capítulo 29).

En la montaña mediterránea, las condiciones de sequía pueden provocar la acumulación de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo (no disponible para las plantas debido a la escasez hídrica), que podrían perderse por lavado o erosión debido al aumento previsto en la frecuencia de las lluvias torrenciales (Matías et al. 2011). Sin embargo, estos efectos climáticos pueden verse atemperados por la cobertura vegetal, en particular la arbórea.

En zonas de matorral mediterráneo los efectos del cambio climático en los ciclos de nutrientes, como el caso del P, dependerán de si el principal factor de cambio es el calentamiento sin importantes alteraciones en el contenido hídrico del suelo, o por el contrario es la disminución de la precipitación. En el primer caso, se produciría un aumento de la actividad fosfatasa que podría satisfacer las demandas de P por las plantas, aumentando su concentración en la biomasa vegetal. Sin embargo, bajo condiciones de mayor sequía se produciría una acumulación de P en el suelo debido a la disminución del contenido hídrico del suelo, la capacidad fotosintética de los matorrales y la actividad fosfatasa de las raíces y el suelo (Sardans et al. 2008). Los cambios en el contenido total de fósforo en el suelo pueden afectar al ciclo de otros nutrientes, ya que todos estos ciclos están fuertemente interconectados.

En los ambientes semiáridos el incremento de las temperaturas parece tener un mayor efecto sobre los procesos del suelo que la disminución de la precipitación. El incremento de la temperatura puede disminuir la cobertura de la costra biológica (una comunidad formada por líquenes, musgos, bacterias y hongos que presenta una gran cobertura en zonas semiáridas), lo que conlleva un aumento del carbono orgánico del suelo debido a la incorporación de la costra al suelo. La pérdida de la costra biológica puede tener efectos drásticos en los ciclos del N y del P como el incremento de la disponibilidad de N en el suelo, que puede suponer una fuente de contaminación (Capítulo 29).

Finalmente, cabe destacar que los efectos de la temperatura y las condiciones de sequía pueden interactuar también con las deposiciones atmosféricas de nitrógeno de origen antrópico, las cuales pueden acarrear importantes cambios en las relaciones entre nutrientes.

Los ecosistemas proveen al ser humano de agua dulce para su consumo, y el incremento de las temperaturas y los descensos en la precipitación estival pueden causar una reducción de los caudales de los ríos en la época estival (Capítulo 28). Sin embargo, las reducciones observadas en los caudales anuales en los últimos 50-60 años en diversas cuencas hidrográficas de España se atribuyen principalmente al incremento de la cubierta forestal, lo que indica el papel clave de la gestión forestal en la conservación de los recursos hídricos en un escenario de cambio climático.

### 3.3.5. Capacidad de adaptación de ecosistemas y organismos

La *capacidad de adaptación* es un componente clave de la vulnerabilidad, que puede favorecer una respuesta adecuada de las especies y sus poblaciones frente al cambio climático. Cabe destacar que la capacidad de adaptación se

asocia muchas veces a respuestas de las sociedades humanas, sin embargo todos los organismos biológicos y los sistemas que conforman presentan mecanismos de acomodación o ajuste frente a los impactos potenciales del cambio climático. Así, en este apartado se aborda la capacidad de adaptación de los organismos y sistemas biológicos que aparece incluida dentro del término más general de ‘capacidad de adaptación’ según el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2014).

### 3.3.5.1. *Procesos evolutivos y plasticidad fenotípica*

- La adaptación local puede favorecer la persistencia de las especies cuando muestran rasgos adaptados a la sequía y al incremento de las temperaturas.
- La diversidad genética de poblaciones y especies puede reducir los efectos negativos del cambio climático mediante la coexistencia de genotipos con distintos grados de tolerancia al estrés ambiental.
- La plasticidad fenotípica permite amortiguar el efecto de los cambios ambientales a lo largo del ciclo de vida de una especie.
- La variación epigenética contribuye a la plasticidad fenotípica y al potencial evolutivo de los individuos y poblaciones.

Entre los procesos de los que depende la capacidad de adaptación cabe destacar la adaptación local. La adaptación local implica un proceso de diferenciación genética entre poblaciones en respuesta a factores ambientales, en el que las poblaciones localmente adaptadas presentan una mayor eficacia reproductiva en su localidad de origen que otras poblaciones foráneas (Kawecki & Ebert 2004). La adaptación local puede favorecer la persistencia de las especies frente al cambio climático cuando desarrollan rasgos adaptados a los aspectos del estrés ambiental que se verán exacerbados en el futuro: condiciones de sequía e incremento de temperatura (Capítulo 4). Sin embargo, una elevada adaptación local puede suponer para una especie determinada un factor de riesgo si el cambio en las condiciones climáticas es muy rápido y la especie en cuestión es incapaz de colonizar nuevas zonas. Por otro lado, la existencia de ecotipos bien adaptados a sus respectivas procedencias puede suponer una oportunidad de manipulación de las especies (Capítulo 41).

La diversidad genética, tanto de una población como de una especie en su conjunto, también puede contribuir a paliar los efectos negativos del cambio climático. Los diferentes genotipos de una población pueden responder de manera diferente al estrés ambiental, mostrando niveles de tolerancia diferentes. Los cambios en las condiciones climáticas podrían variar las frecuencias de estos genotipos (aumentando la frecuencia de genotipos con una alta tolerancia al estrés ambiental), reduciendo así los efectos negativos del cambio climático (Kelly et al. 2003, Lloret et al. 2012). En este contexto, el flujo genético entre poblaciones resulta fundamental para mantener la diversidad genética de especies y poblaciones. La fragmentación y destrucción de hábitats puede dificultar el flujo genético entre las diferentes poblaciones de una especie y afectar a su diversidad genética.

La plasticidad fenotípica, definida como la capacidad de un genotipo (o población/especie) de expresar fenotipos distintos en diversos ambientes (Garland & Kelly 2006), es otro de los procesos clave de la capacidad de adaptación. Una alta plasticidad fenotípica que sea adaptativa puede permitir a una especie sobrevivir a un amplio rango de condiciones ambientales, ya que la probabilidad de obtener fenotipos adecuados a las nuevas condiciones es mayor. Numerosos estudios han demostrado la capacidad de las plantas mediterráneas para ajustar su morfología, fisiología, fenología y reproducción en respuesta a la variación de temperatura y la disponibilidad de agua (Capítulo 32). Así, la plasticidad fenotípica puede amortiguar en parte los cambios ambientales a lo largo del ciclo de vida de un organismo, aumentando su tolerancia al estrés y favoreciendo la persistencia de las especies en los nuevos escenarios climáticos. La plasticidad fenotípica puede suponer un mecanismo de gran relevancia en especies longevas, como los árboles, en los que los procesos evolutivos están limitados o ralentizados debido a su largo ciclo vital. Sin embargo, la variabilidad climática puede limitar la expresión de la plasticidad fenotípica, que varía tanto entre poblaciones y especies, como entre rasgos y factores ambientales a los que responden las especies (Capítulo 32).

Aparte del componente genético, la variación epigenética contribuye a la plasticidad fenotípica y al potencial adaptativo de los individuos y poblaciones (Capítulo 30). La epigenética hace referencia al estudio de cambios heredables en la función génica que se producen sin un cambio en la secuencia del ADN y que son potencialmente reversibles. Varios estudios sugieren que los mecanismos epigenéticos pueden desempeñar un papel fundamental en la aclimatación de las plantas mediterráneas a los nuevos escenarios de cambio climático (Capítulos 30 y 32).

### 3.3.5.2. *Mecanismos de compensación demográfica*

Los mecanismos de compensación demográfica que disminuyen la mortalidad, aumentan la supervivencia y maximizan la regeneración ante eventos climáticos extremos favorecen la estabilidad de las comunidades vegetales.

Los mecanismos de compensación demográfica suponen un elemento más dentro de la capacidad de adaptación de poblaciones y comunidades vegetales, y pueden disminuir su vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos. Las sequías extremas y las olas de calor, cuya frecuencia e intensidad se espera que aumenten en las próximas décadas, pueden



provocar fenómenos de decaimiento y mortalidad en la vegetación, lo que puede alterar la composición y estructura de la comunidad. Sin embargo, existen mecanismos de compensación demográfica que pueden estabilizar las poblaciones vegetales y dotarlas de resiliencia ante estos eventos (Capítulo 31). Se trataría de aquellos que minimizan la mortalidad (condiciones microclimáticas, tolerancia fisiológica, plasticidad y variabilidad fenotípica), aumentan el crecimiento de los supervivientes o maximizan la regeneración (mejores condiciones ambientales, disminución de la competencia y de las interacciones antagonistas, aumento de la facilitación y de las interacciones mutualistas; Tabla 3). Sin embargo, esta resiliencia no es ilimitada, y la propia tendencia climática a una mayor aridez, la recurrencia de los eventos climáticos extremos, y la interacción con otros factores, como plagas e incendios, puede conducir a traspasar los límites de tolerancia de las especies y provocar cambios rápidos en los ecosistemas (Capítulo 31).

**Tabla 3.**

	<b>Cambios abióticos</b>	<b>Respuestas poblacionales</b>	<b>Interacciones en la comunidad</b>
<b>Disminución de la mortalidad</b>	Calidad de estación	Tolerancia al estrés Plasticidad fenotípica Variabilidad fenotípica	Facilitación
<b>Compensación de la mortalidad aumentando la supervivencia futura</b>	Efecto positivo del nuevo clima sobre el crecimiento y la supervivencia	Disminución de la competencia	Disminución de antagonismos
<b>Compensación de la mortalidad aumentando el reclutamiento</b>	Efecto positivo del nuevo clima en el reclutamiento	Relajación de la competencia en el reclutamiento	Favorecimiento de los mutualismos Fortalecimiento de redes de interacciones

**Tabla 3.** Mecanismos de estabilización frente a eventos climáticos extremos. Estos mecanismos actuarían disminuyendo la mortalidad asociada a los eventos extremos, o compensándola posteriormente favoreciendo el crecimiento de los supervivientes o el reclutamiento de nuevos individuos. Pueden deberse a cambios en las condiciones abióticas, a respuestas poblacionales o a interacciones a escala de comunidad (adaptado de Lloret et al. 2012).

### 3.3.5.3. Migración

- Se esperan migraciones de las especies hacia latitudes más septentrionales y cotas altitudinales superiores, buscando temperaturas más frescas y ambientes más húmedos.
- También pueden ocurrir desplazamientos hacia micrositios con condiciones ambientales más favorables, como las vaguadas y las exposiciones de umbría.

La migración de las especies es otro proceso que forma parte de su capacidad de adaptación frente al cambio climático. Así, se esperan migraciones hacia latitudes más septentrionales y cotas altitudinales superiores con el cambio climático, buscando temperaturas más frescas y ambientes más húmedos (Parmesan & Yohe 2003). En España ya se han observado migraciones altitudinales (p. ej. del haya; Peñuelas et al. 2007) y latitudinales (p. ej. en varias especies de reptiles; Capítulo 8). Sin embargo, la migración no tiene por qué suponer cambios en la distribución global de la especie, ya que estas pueden migrar, a escala de paisaje, hacia micrositios con condiciones ambientales más favorables, como pueden ser las vaguadas o las exposiciones de umbría, de temperaturas más frescas y mayor humedad. Así mismo, algunas especies de artrópodos forestales podrían colonizar el medio hipogeo ante una posible desaparición de la cubierta arbórea en determinadas zonas de su área de distribución (Capítulo 11). Debido a la rapidez del cambio climático, las especies cuentan con poco margen temporal para los cambios evolutivos. Por el contrario, la migración es una respuesta más probable para muchas especies (Capítulo 8).

### 3.3.6. Ecosistemas, especies y poblaciones más vulnerables

- Los ecosistemas de montaña son especialmente vulnerables al cambio climático debido a sus características de ‘islas ecológicas’. Las poblaciones situadas en las cotas altitudinales superiores se encuentran entre las más vulnerables, ya que las condiciones climáticas propias de estas zonas dejarán de existir.
- Las poblaciones situadas en los límites meridionales de distribución y las cotas altitudinales inferiores pueden presentar una alta vulnerabilidad debido a su alta exposición.
- Los anfibios y los reptiles son especialmente vulnerables debido a su limitada capacidad de dispersión, su vulnerabilidad a enfermedades emergentes y su gran dependencia de la temperatura.
- Las especies con un ciclo vital largo en función de su potencial reproductivo pueden tener menos margen para responder al cambio climático con procesos evolutivos.
- Las poblaciones relictas son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su pequeño tamaño poblacional y su aislamiento. Además, con frecuencia se desconoce su existencia.

A la hora de diseñar estrategias y medidas de adaptación al cambio climático es fundamental identificar aquellos ecosistemas, especies y poblaciones más vulnerables. Los ecosistemas de montaña se encuentran entre los más vulnerables debido a sus características de ‘islas ecológicas’. Así, las especies cacuminales se encuentran entre las más amenazadas, ya que las condiciones climáticas propias de las cotas altitudinales superiores pueden desaparecer como consecuencia del cambio climático. Por otro lado, las migraciones altitudinales cercanas a las cumbres de las montañas pueden suponer una reducción del área potencial de distribución para muchas especies o conducir a la hibridación de especies endémicas con las recién llegadas, lo que ha sido denominado por Gómez et al. (2015) como la “extinción silenciosa”. Sin embargo, las zonas de montaña ofrecen una oportunidad de migración para muchas especies, ya que actúan como corredores altitudinales en paisajes fragmentados a cotas bajas (muy frecuentes en la península ibérica), en los que la migración latitudinal a larga distancia puede verse dificultada (Jump et al. 2009). Por lo tanto, la conservación de las zonas de montaña, tanto por su vulnerabilidad como por su efecto ‘refugio’, es clave a la hora de diseñar estrategias de adaptación al cambio climático.

Las zonas de transición entre el clima eurosiberiano y el mediterráneo pueden resultar también muy vulnerables al cambio climático debido al futuro incremento de la aridez, que puede suponer una ‘mediterrización’ de las mismas. A pesar de que tienen más posibilidades de migrar a zonas más favorables climáticamente, las poblaciones situadas en altitudes bajas y latitudes meridionales pueden presentar una gran vulnerabilidad debido a su alta exposición al cambio climático. Así, se han observado impactos en muchas poblaciones de especies arbóreas situadas en las cotas altitudinales inferiores y en los límites meridionales de distribución (Capítulos 13, 18, 19 y 21). Sin embargo, las comunidades vegetales mediterráneas presentan una alta resiliencia a perturbaciones, lo que puede contribuir a disminuir su vulnerabilidad (Del Cacho & Lloret 2012, Herrero & Zamora 2014).

Los anfibios y reptiles, muy afectados negativamente por la destrucción de su hábitat, pueden resultar especialmente vulnerables al cambio climático debido a su limitada capacidad de dispersión, su vulnerabilidad a enfermedades emergentes, y su gran dependencia de la temperatura ambiente (Capítulos 7 y 8). Algunas poblaciones singulares de especies de aves paseriformes, como las poblaciones sedentarias de curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), pueden resultar especialmente amenazadas debido a su reducida área de distribución y a la competencia con las poblaciones migradoras de áreas adyacentes (Capítulo 10).

Respecto a las especies vegetales, el largo ciclo vital de las especies arbóreas puede limitar su respuesta al cambio climático, ya que el margen temporal para que tengan lugar procesos evolutivos de adaptación es más pequeño que en otras especies con ciclos más cortos, aunque esto podría verse compensado por su alto potencial reproductivo (Aitken et al. 2008).

Por último, cabe destacar el caso de las poblaciones relictas de larga duración, definidas como aquellas poblaciones de una especie que han persistido durante largo tiempo en enclaves aislados con un clima adecuado (Capítulo 3). Así, las poblaciones relictas suelen encontrarse en los límites de distribución de las especies, lejos de su óptimo ambiental, y suelen presentar una alta diferenciación genética. Estas poblaciones son de gran importancia para la conservación de la diversidad genética y el potencial evolutivo de las especies, clave en el contexto actual de cambio climático. Los relictos pueden ser altamente vulnerables al cambio climático debido a su pequeño tamaño poblacional y su aislamiento (Capítulo 3). Además, en muchas ocasiones se desconoce la existencia de estas poblaciones.

### 3.4. Acciones futuras frente al cambio climático

- Aumentar el espectro de organismos y sistemas estudiados.
- Fomentar y apoyar las redes de seguimiento a largo plazo.
- Coordinación e integración de la información ambiental ya existente.
- Potenciación de la modelización y la prospectiva.
- Gestión adaptativa para la adaptación.

El presente informe no es una recopilación exhaustiva de casos de impactos y vulnerabilidades de los bosques y la biodiversidad en España, sino que recoge algunos de los casos documentados en la literatura científica. La selección de una especie o biotopo puede estar sometida a varios sesgos, como su valor cultural o económico, o el interés mediático que suscitan. Por lo tanto, es importante abarcar un espectro mayor de especies y hábitats.

Los ecosistemas operan a unas escalas temporales mucho mayores que una generación humana por lo que los estudios ecológicos requieren necesariamente de redes de observación a largo plazo, más allá del periodo de duración de un proyecto de investigación medio o de una legislatura (Likens 1989). España ha sido poco eficiente a la hora de mantener de forma sostenida en el tiempo dichas redes de observación, lo que limita en gran medida la capacidad de comprender los efectos de los cambios ambientales y de llevar a cabo predicciones. En la actualidad dichos esfuerzos son dispares entre autonomías y urge diseñar y consolidar proyectos de seguimiento ambiental a largo plazo como la Red de Investigación Ecológica a Largo-Plazo (LTER, [www.lter-spain.net/](http://www.lter-spain.net/)).

Existen numerosas bases de datos sufragadas con fondos públicos que describen en el espacio y en el tiempo la respuesta de los ecosistemas forestales, y en menor medida la biodiversidad, a variables ambientales. Estas bases de datos son un legado insustituible para las generaciones venideras y debe asegurarse la financiación de aquellas en marcha y su organización y custodia, con el fin de que no existan periodos en blanco o incluso su abandono con la pérdida de inversión que ello supone. Así, existen casos como el Inventario Forestal Nacional que ha sido fundamental a la hora de conocer el estado de nuestras masas forestales y de calibrar modelos de dinámica forestal. Sin embargo, existen numerosas bases de datos obtenidas por administraciones públicas infrautilizadas por diferentes razones. Urge un portal para que toda la información obtenida con financiación pública -incluida la resultante de las investigaciones- esté integrada, armonizada y disponible para futuros análisis. Esta iniciativa debería de contar con recursos propios, diferentes de los actores implicados en la generación de información, ya que integrar y armonizar todos los datos disponibles puede resultar costoso. De esta manera no se limitaría la capacidad de generar nueva información por parte de gestores e investigadores, que a menudo cuentan con escasos recursos. Además, se deberían promover formatos de 'non-proprietary software' para estas bases de datos, con el objetivo de facilitar su uso. Este esfuerzo debe incluir a la comunidad científica, cuyos datos deben de estar disponibles tanto para científicos como para técnicos y gestores de la administración pública y organismos privados.

Los ecosistemas son complejos y sólo pueden comprenderse mediante enfoques integrados de observación, experimentación y modelización. Por un lado, las observaciones son cruciales para registrar fenómenos, definir tendencias y para parametrizar y comprobar modelos. Por otro lado, los experimentos son fundamentales para comprobar hipótesis concretas y supuestos en la construcción de modelos. Finalmente, los modelos son necesarios para identificar los procesos clave. Los modelos, al ser simplificaciones de la realidad, permiten no solo identificar los procesos clave, si no detectar umbrales de transición probables, algo esencial en el estudio de vulnerabilidades y en el análisis de procesos como la desertificación y el decaimiento forestal. Los modelos permiten extrapolar dichos procesos a diversas escalas espaciales y temporales, y son la base para la prospectiva y la construcción de escenarios futuros, los cuales deben integrar además procesos sociales y económicos.

En el caso de los gestores, la gestión adaptativa (definida como un proceso iterativo de planificación, implementación y modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante) es la mejor garantía de responder con éxito a los retos del cambio climático. Las demandas de la sociedad han cambiado sustancialmente durante las últimas décadas y lo seguirán haciendo en un contexto de cambio constante. Los gestores deben adaptarse a estas nuevas demandas como son la producción de biomasa, la conservación de la biodiversidad, la adaptación al cambio climático y la mitigación del mismo. Dichas demandas se yuxtaponen a la gestión multifuncional clásica conformando un escenario de alta exigencia para un sector con poco apoyo.

En el actual contexto de cambio climático, la gestión forestal y de la biodiversidad debe considerar explícitamente los escenarios de cambio climático. Es decir, se debe gestionar pensando que el producto de la gestión tendrá que afrontar condiciones climáticas diferentes a las actuales. Por ejemplo, los gestores forestales deberán de gestionar los bosques actuales teniendo en cuenta que la producción forestal cambiará en las próximas décadas.

Dentro de esta gestión adaptativa, la colaboración entre gestores e investigadores y otros agentes es prioritaria. Por un lado, la experiencia de los gestores hace que planteen preguntas e hipótesis claves en las escalas espaciales y temporales más relevantes para la gestión de los ecosistemas. Los gestores llevan a cabo actuaciones sobre los sistemas en función de unas expectativas. Por otro lado, los investigadores disponen de metodologías que permiten cuantificar y comparar los procesos y desarrollar teorías para comprender y predecir su comportamiento en respuesta a nuevas condiciones. La gestión adaptativa permite a los gestores evaluar las consecuencias de sus decisiones y a los investigadores replantearse sus modelos. Urge la creación de espacios de interacción entre gestores e investigadores de forma que fomenten la sinergia entre ambos colectivos.

## ■ 4. ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

### 4.1. Introducción

- La adaptación al cambio climático (ACC) se define como la intervención humana que busca facilitar el ajuste de los sistemas naturales o humanos al clima real o proyectado y sus efectos.
- La ACC busca promover la resistencia y la resiliencia (definida como la capacidad de recuperar la función y estructura previas a una perturbación) de los ecosistemas frente al cambio climático.
- Es conveniente planificar e implementar las medidas de ACC dentro de un marco de gestión adaptativa, permitiendo así la modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante.
- Las medidas de ACC deben enmarcarse en un contexto de gestión sostenible, ya que el objetivo final de la adaptación es asegurar la preservación de los procesos y servicios de los ecosistemas.
- Una gestión anticipadora puede ayudar a preservar los servicios ecosistémicos en las nuevas condiciones climáticas y a aprovechar sus posibles ventajas.
- A diferencia de la ACC, que busca paliar los efectos del cambio climático, la mitigación va dirigida a frenar el proceso del cambio climático en sí, a través de la disminución de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los ecosistemas responden a la variabilidad climática natural y al cambio climático inducido por el ser humano de maneras que pueden resultar tanto adversas como beneficiosas para la sociedad. La **adaptación al cambio climático (ACC)** hace referencia al proceso de ajuste de los sistemas a los efectos tanto del clima real como a los posibles efectos de las proyecciones climáticas. En los sistemas artificiales en los que el control está mayoritariamente ejercido por el ser humano (p.ej. infraestructuras), la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas para la sociedad. En los sistemas naturales (en los que parte del control se debe a procesos físicos y biológicos), la intervención humana pretende facilitar el ajuste a las nuevas condiciones ambientales (IPCC 2014). Otros dos conceptos frecuentemente ligados a la adaptación son la *resistencia* y la *resiliencia*. La resistencia se define como la fuerza ejercida por un sistema (p.ej. individuo, población, ecosistema, etc.) en sentido opuesto al cambio provocado por una perturbación o cambio exógeno (p. ej. un incendio o una sequía extrema; MacGillivray et al. 1995). En cambio, la resiliencia se puede definir como la capacidad de recuperar la estructura y función previas a una perturbación (Holling 1996). La ACC busca promover la resistencia e incrementar la resiliencia de los sistemas frente al cambio climático.

A pesar de que la ACC pretende facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos en los ecosistemas mediante la intervención humana (IPCC 2014), existen ajustes de origen biológico o físico, como por ejemplo migraciones hacia hábitats climáticamente más favorables o cambios en las frecuencias génicas de atributos que permitan la persistencia en climas más cálidos. En concreto, la *adaptación evolutiva* se refiere a cambios en las características funcionales de una población como consecuencia de la selección natural sobre rasgos heredables (IPCC 2014). Por lo tanto, la adaptación evolutiva, que opera a nivel de individuo, forma parte del conjunto de procesos que a diferentes escalas y niveles funcionales pueden incidir sobre la ACC. De este modo, la adaptación evolutiva, pero también otros procesos que operan desde el individuo al ecosistema, pueden permitir la resistencia y resiliencia de los ecosistemas frente a una perturbación o un cambio ambiental (Dawson et al. 2011); por ejemplo la aclimatación mediante plasticidad fenotípica (Capítulo 32), la capacidad de dispersión y colonización de nuevos hábitats (Parmesan & Yohe 2003, Peñuelas et al. 2007), mecanismos de compensación demográfica (Capítulo 31) o cambios sucesionales con reemplazamiento de especies (Allen & Breshears 1998, Capítulo 15), entre otros.

En este informe se asocia el término ACC únicamente con procesos de intervención o gobernanza humana destinada a facilitar el ajuste de los ecosistemas y sus componentes al cambio del clima observado y proyectado. Así, se analizan estrategias y técnicas dirigidas a reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas terrestres frente al cambio climático, con el objetivo de salvaguardar sus procesos y los servicios que proveen tanto a corto como a medio-largo plazo.

Un concepto que a menudo se confunde con el de ACC es el de gestión adaptativa. La gestión adaptativa se define como un proceso iterativo de planificación, implementación y modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante (IPCC 2014). Aunque son conceptos independientes, las medidas de ACC deben planificarse e implementarse dentro de un contexto de gestión adaptativa debido a la incertidumbre y al cambio constante que supone el actual escenario de cambio climático. Otro concepto de relevancia, es el de gestión sostenible que implica una gestión económicamente viable, socialmente beneficiosa y ambientalmente coherente, gestionando los ecosistemas de manera que se preserven su estructura y los servicios que proveen a largo plazo. Por último, el actual contexto de cambio climático obliga a diseñar medidas de adaptación teniendo en cuenta los escenarios climáticos futuros. Es decir, es necesario gestionar teniendo en cuenta que algunos objetivos de la gestión se tendrán que abordar en condiciones diferentes a las actuales. La aplicación de medidas de ACC de forma anticipada es clave para preservar los servicios de los ecosistemas en las nuevas condiciones climáticas y aprovechar las posibles ventajas de las nuevas condiciones, por ejemplo un alargamiento del periodo vegetativo (Peñuelas et al. 2002) o el efecto fertilizador del incremento de

la concentración CO<sub>2</sub> atmosférico (Capítulo 27). Por tanto, lo deseable es que la adaptación al cambio climático se enmarque dentro de una gestión sostenible, adaptativa y anticipadora, ya que el objetivo final de la adaptación es asegurar la preservación a largo plazo de los procesos naturales y de los servicios ecosistémicos.

Otro concepto que aparece junto al de adaptación de forma indisociable es el de la mitigación. Ambos conceptos son complementarios y siempre que sea posible deben considerarse conjuntamente en las estrategias de lucha contra el cambio climático (ver Capítulo 54). La mitigación va dirigida a frenar el proceso del cambio climático en sí, a través de la disminución de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Para ello puede, o bien promover la reducción de las emisiones, o bien fomentar la retirada de los gases ya emitidos (p. ej. mediante su captación en los bosques). El presente informe se centra en estrategias y medidas de adaptación con independencia de su vinculación con estrategias de mitigación.

## 4.2. Instrumentos para la adaptación en España

### 4.2.1. Contexto e instrumentos legales y administrativos

- El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) y el proceso de negociación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático establecen la adaptación como uno de los principales pilares a la hora de gestionar la respuesta al cambio climático.
- La *Estrategia Europea de Adaptación* es el referente en la política europea de adaptación, y se centra en la promoción de acciones de adaptación en los Estados Miembros de la Unión Europea, el refuerzo del conocimiento y la integración de la adaptación en las políticas comunitarias.
- El *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* (PNACC), mediante sus Programas de Trabajo, desarrolla la política de adaptación en España. El PNACC se estructura en cuatro ejes: evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación, integración de la adaptación en la normativa sectorial, movilización de actores clave, y establecimiento de un sistema de indicadores de impactos y adaptación. La potenciación de la investigación, y el refuerzo de la coordinación entre administraciones suponen, además, los dos pilares básicos del PNACC.
- El *Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad* y el *Plan Forestal Español* son instrumentos clave para la integración de la adaptación en las normativas sectoriales de biodiversidad y bosques. El actual marco normativo en el ámbito de la biodiversidad prevé suficientes instrumentos aplicables a la planificación y aplicación de las medidas de adaptación.
- AdapteCCA ([www.adaptecca.es](http://www.adaptecca.es)) es la plataforma de intercambio y consulta de información sobre ACC desarrollada en el marco del PNACC, que tiene como objetivo facilitar el intercambio y la consulta de información y promover la comunicación y el trabajo conjunto entre los principales agentes implicados en la adaptación en España.

Durante los últimos años, la ACC ha adquirido mayor relevancia a nivel mundial. Tanto el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC 2014) como el proceso de negociación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), establecen la adaptación como uno de los principales pilares a la hora de gestionar la respuesta al cambio climático. Según la CMNUCC, se deben de hacer todos los esfuerzos posibles para adoptar estrategias de ACC nacionales, regionales o locales, considerando siempre la variabilidad a la escala apropiada. No obstante, estas estrategias pueden verse respaldadas y reforzadas por estrategias integradas y coordinadas a nivel supranacional, especialmente cuando los impactos trasciendan las fronteras de los Estados.

La *Estrategia Europea de Adaptación*, aprobada en el año 2013 por la Unión Europea, es el referente actual en la política europea de adaptación, cuyos tres objetivos básicos son: i) la promoción de acciones de adaptación en los Estados Miembros, ii) el refuerzo del conocimiento y iii) la integración de la adaptación en las políticas comunitarias europeas. Para facilitar la toma de decisiones de los agentes implicados en la adaptación al cambio climático se fomenta el incremento de programas de investigación, la recopilación e intercambio de información en materia de adaptación (p. ej. a través de la plataforma europea Climate-Adapt para la transferencia de conocimientos), y la promoción de la adaptación en sectores vulnerables (Figura 9; Capítulo 37).

En cuanto a las estrategias de adaptación nacionales, España ha sido uno de los primeros países europeos en desarrollar una política de adaptación. En 2006 se aprobó el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* (PNACC) y su *Primer Programa de Trabajo* (1PT) que abordó la generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España y la evaluación de los efectos del cambio climático en la biodiversidad, las zonas costeras y los recursos hídricos de España. El *Segundo Programa de Trabajo* (2PT) del PNACC, aprobado en 2010, se estructuró en torno a cuatro ejes: i) evaluación sectorial de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, ii) integración de la adaptación en la normativa sectorial, iii) movilización de actores clave, y iv) establecimiento de un sistema de indicadores de impactos y adaptación. Además, el 2PT identificó dos pilares básicos: la potenciación de la investigación, y el refuerzo de la coordinación entre la Administración General del Estado (AGE) y las Comunidades Autónomas (CCAA; Figura 10).

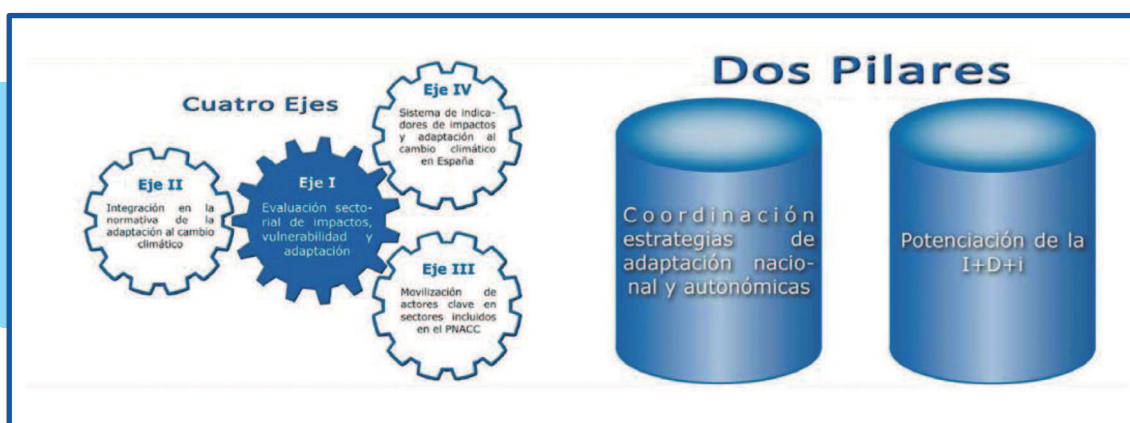
■ **Figura 9.**



▲ **Figura 9.** Objetivos y acciones de la Estrategia Europea de Adaptación. Fuente: Tercer Programa de Trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC 2014).

El *Tercer Programa de Trabajo* (3PT; PNACC 2014) mantiene la estructura establecida en el 2PT, con sus cuatro ejes y dos pilares, y proporciona la necesaria continuidad al PNACC en su conjunto (Figura 10). Esta estructura da soporte al llamado "ciclo de la adaptación", proceso continuo, con múltiples elementos (ejes y pilares) e interactivo donde sus distintos elementos trabajan y producen resultados que se combinan para modelar el proceso de la adaptación. El ciclo comienza con la generación y análisis de datos, información y conocimiento, el cual se transfiere, mediante procesos de participación y movilización de actores, a los responsables de la planificación y gestión de cada sector. El ciclo continúa cuando las respuestas a las necesidades de adaptación son integradas en las normas e instrumentos que regulan cada sector o en instrumentos de planificación transversal. El sistema de indicadores de impactos, vulnerabilidad y adaptación proporciona el elemento necesario para el seguimiento. Cabe destacar que los sectores considerados por el PNACC han aumentado de tres en el 1PT hasta trece en el 3PT: biodiversidad, bosques, recursos hídricos, suelos y desertificación, agricultura y pesca (incluyendo la acuicultura), turismo, salud, finanzas y seguros, energía, transporte, urbanismo y construcción, industria, y caza y pesca continental. La planificación transversal de las medidas de adaptación en estos sectores resulta necesaria para mantener una estrategia de adaptación coherente y eficaz.

■ **Figura 10.**



▲ **Figura 10.** Estructura del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), con sus 4 ejes y 2 pilares. Fuente: Tercer Programa de Trabajo del PNACC (PNACC 2014).

Respecto a la integración de la adaptación en las normativas sectoriales de biodiversidad y bosques, destacan el *Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad* (2011-2017; PEPNB 2011) y el *Plan Forestal Español* (PFE 2002). El PEPNB considera específicamente la incertidumbre creada por la dinámica del cambio climático en la evolución y tendencia de la biodiversidad, por lo que adopta como principios básicos la adaptación y la flexibilidad. Así, el plan aboga por la utilización de modelos de planificación y gestión adaptativos y flexibles que permitan tanto la anticipación a los problemas como las respuestas adecuadas a retos emergentes. Las metas y objetivos específicos del plan consideran los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y su vulnerabilidad, y buscan la coherencia y sinergia entre las medidas de adaptación y las de conservación de la biodiversidad (PEPNB 2011). En este contexto, la protección legal de poblaciones, especies, comunidades y ecosistemas debe suponer un marco indispensable para la adaptación; por ejemplo, la inclusión de especies, subespecies y poblaciones en el *Catálogo Español de Especies Amenazadas* puede facilitar la aplicación de medidas destinadas a disminuir su vulnerabilidad al cambio climático (Capítulo 38). Esta interacción entre conservación y adaptación opera en ambas direcciones, ya que la información sobre la vulnerabilidad de las especies debe tenerse en cuenta para evaluar su posible inclusión en el *Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y/o en el Catálogo Español de Especies Amenazadas*, tal y como se ha hecho recientemente con las especies de vertebrados. Para ello se utilizó la *Evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española* realizada en 2011 para la fauna de vertebrados (Araújo et al. 2011). El estudio ha demostrado la necesidad de interpretar el Listado y el Catálogo de forma dinámica, incluyendo y excluyendo taxa según aconseje la información científica disponible. Es necesario contar con información actualizada y unificada acerca de la vulnerabilidad y estado de conservación de las especies y, en todo caso, disponer los medios para garantizar la aplicación de las consecuencias legales de la catalogación (es decir, la elaboración y aplicación de los planes y las medidas de conservación más adecuadas).

En el caso de los bosques, el marco general que regula la planificación forestal es el PFE, que contempla como uno de sus objetivos la mejora de la adaptación de las masas forestales españolas a las nuevas condiciones climáticas. La Ley básica de Montes (Ley 43/2003 modificada a través de la 10/2006), y su revisión ya en marcha, reconocen también la necesidad de aplicar medidas de adaptación, con el objetivo de fomentar la resiliencia o resistencia de los ecosistemas forestales al cambio climático. Igualmente la *Estrategia Española para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos Forestales* (MIMAM 2006) tiene una especial relevancia en la conservación de poblaciones forestales amenazadas por el cambio climático.

- Los *Planes de Ordenación de los Recursos Naturales* y los *Planes de Ordenación de los Recursos Forestales* son instrumentos clave para la planificación territorial y la gestión forestal sostenible, que deben tener en cuenta el diseño de prácticas de ACC.
- La ordenación forestal tiene una gran potencialidad para la implementación de medidas de ACC, ya que es el instrumento mediante el cual, a través de proyectos de ordenación de montes, planes dasocráticos, planes técnicos o figuras equivalentes, se gestionan los bosques españoles a escalas espaciales ejecutivas y de forma continuada en el tiempo.
- La custodia del territorio puede servir como un instrumento para fomentar el papel de los agentes privados en la implementación de medidas de adaptación.
- La certificación forestal favorece la implementación de medidas específicas de ACC en los bosques españoles.
- La gestión adaptativa fundamentada en la colaboración entre científicos y gestores, basada en un diálogo continuo y constante entre ambos colectivos, es otro instrumento fundamental para la adaptación. El desarrollo de proyectos de adaptación en espacios protegidos o en montes catalogados de utilidad pública supone una buena opción para esta colaboración, ya que muchos de ellos disponen de equipos de gestores y medios económicos propios.
- La silvicultura es una herramienta fundamental para favorecer el ajuste de los ecosistemas forestales frente a los cambios climáticos. La transferencia de conocimientos desde la ecología a la silvicultura es necesaria para el desarrollo de estrategias de adaptación y actuaciones selvícolas que promuevan la resistencia y resiliencia de diversos aspectos de los sistemas forestales. Y también es deseable el flujo en sentido contrario, porque las experiencias forestales prácticas y la reacción de los ecosistemas a ellas son una base fundamental para la progresión de la ciencia ecológica.
- La restauración ecológica puede suponer un importante instrumento para la adaptación, siempre y cuando considere los futuros escenarios climáticos y la incertidumbre asociada. La predicción del aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos en el contexto de cambio climático, exigirá el uso de la restauración ecológica para la recuperación de procesos y servicios ecosistémicos.
- El traslado de material de reproducción, juveniles o individuos adultos dentro, al margen y fuera de la distribución geográfica de las especies con el objetivo de anticiparse a los futuros cambios climáticos, denominada como Migración Asistida (MA), es otro instrumento potencial de adaptación. La investigación sobre adaptación local mediante ensayos de procedencia y análisis genéticos puede resultar de gran ayuda a la hora de aplicar la MA.

Es necesario destacar que la integración de la adaptación en las normativas sectoriales necesita de la adecuada coordinación entre las diferentes escalas de la administración pública, en particular CCAA, diputaciones, ayuntamientos y la AGE, siempre desde el respeto a las competencias de cada nivel de la administración. Las CCAA han desarrollado y mantienen marcos estratégicos y planes propios en materia de adaptación.

La Plataforma de intercambio y consulta de información sobre adaptación al cambio climático, AdapteCCA ([www.adaptecca.es](http://www.adaptecca.es)), desarrollada en el marco del PNACC, tiene como objetivo facilitar el intercambio y la consulta de información y promover la comunicación y el trabajo conjunto entre los principales agentes implicados en la adaptación. Proporciona una herramienta de gran valor para conocer los distintos marcos y acciones que se desarrollan a nivel autonómico. Además, el *Grupo de Trabajo sobre Impactos y Adaptación*, creado en 2007, reúne regularmente a técnicos y responsables de la AGE y las CCAA en materia de adaptación para coordinar el desarrollo de los marcos estratégicos y acciones de adaptación que se llevan a cabo en ambos niveles (PNACC 2014). En el ámbito municipal existen también áreas de competencias relacionadas con el cambio climático, cuyas normativas pueden integrar medidas de adaptación al cambio climático, tal y como reconoce el 3PT del PNACC (PNACC 2014).

#### 4.2.2. Instrumentos de planificación y ejecución

El *Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad* (PEPNB 2011) concede un papel clave a los *Planes de Ordenación de los Recursos Naturales* (PORN) y a los *Planes de Ordenación de los Recursos Forestales* (PORF) como figuras de planificación territorial y herramientas de gestión forestal sostenible, que tienen en cuenta el diseño de prácticas de ACC. La Ley 43/2003 de montes, de 21 de noviembre, modificada por la Ley 10/2006 y el PNACC, aprobado en 2006, dan igualmente cobertura a la aplicación de los planes mencionados. Así mismo, los Planes Rectores de Uso y Gestión, que son el instrumento de planificación de los parques naturales y nacionales, son planes adecuados para contener medidas de ACC debido a su operatividad. La **ordenación de montes** u **ordenación** forestal es la planificación de las actuaciones a desarrollar sobre un monte, durante un plazo variable, para alcanzar los objetivos de su propietario y satisfacer, simultáneamente, las demandas de la sociedad. La ordenación forestal debe incidir sobre todos los elementos del sistema monte, tanto sobre sus valores vivos de fauna y de flora como sobre las infraestructuras que permiten su conservación y aprovechamiento. Se trata por tanto de una actividad multidimensional, que combina aspectos ecológicos, económicos y sociales, todos ellos de una gran complejidad; y al mismo tiempo se desarrolla con distintos niveles de vigencia: estratégicos, tácticos y ejecutivos (Oliet et al. 2005). Por lo tanto, la ordenación supone un puente natural entre las demandas sociales que se expresan en la planificación estratégica y las actuaciones a escala de rodal que deben considerar los aspectos concretos de la zona y sus limitaciones logísticas. La ordenación forestal tiene una gran potencialidad para la implementación de medidas de adaptación, ya que es el instrumento mediante el cual, a través de proyectos de ordenación de montes, planes dasocráticos, planes técnicos o figuras equivalentes, se gestionan los bosques españoles (sobre todo los de titularidad pública). Los criterios para las ordenaciones de estos montes, sin embargo, han de ser revisados, incorporando criterios de ACC y mejora de la diversidad y funcionalidad de los ecosistemas forestales.

La aplicación de regímenes de actuación de pequeña intensidad y alta frecuencia que generen perturbaciones de pequeña intensidad en los bosques (Capítulos 50 y 51) ofrece una gran flexibilidad y facilidad de aplicación a pequeña escala, y favorece una mayor heterogeneidad estructural que en el caso de métodos clásicos en los que un estricto control de la evolución espacio-temporal del bosque es prácticamente inviable. Es conveniente considerar que los aprovechamientos de pequeña intensidad pueden ser menos rentables económicamente y producir más daños en la masa en pie, sin embargo ayudan a mantener el ambiente nemoral del bosque además de promover una gran heterogeneidad estructural (ver Capítulos 50, 51 y 52). Una mayor heterogeneidad estructural puede promover la resistencia e incrementar la resiliencia del ecosistema frente a eventos climáticos extremos e incendios forestales, y en general frente a diversos agentes que pueden afectar negativamente a los diferentes servicios ecosistémicos. Las actuales herramientas de información geográfica y de evaluación de recursos facilitan la toma de datos y la gestión espacial a escalas de detalle. Esto permite esquemas de planificación y gestión por rodales, en los que cada actuación se practica en el tiempo y la forma que demande cada rodal (González-Molina et al. 2006). Para acometer actuaciones relevantes a media y gran escala, la forma más efectiva de lograrlo es coordinando muchas acciones de detalle, que preferiblemente no deben depender en exclusiva de presupuestos públicos, sobre todo para garantizar su sostenibilidad en el tiempo y una cobertura espacial adecuada. El actual contexto de elevada demanda de energía, y en concreto de las políticas europeas de incentivos al uso de la biomasa, pueden suponer un acicate para una gestión anticipadora, que integre objetivos ecológicos, sociales y económicos.

La **custodia del territorio** se define como un conjunto de estrategias y técnicas que tienen el objetivo de favorecer y hacer posible la responsabilidad de los propietarios y usuarios del territorio en la conservación de sus valores naturales, culturales y paisajísticos, así como en el uso adecuado de sus recursos (Barreira et al. 2010). En el contexto de cambio climático, la custodia del territorio puede servir como instrumento para fomentar el papel de los agentes privados en la implementación de medidas de ACC. Esto resulta de vital importancia ya que amplias extensiones con importantes valores naturales son de propiedad privada (p.ej. en los parques naturales la titularidad privada se aproxima al 60 % de la superficie).

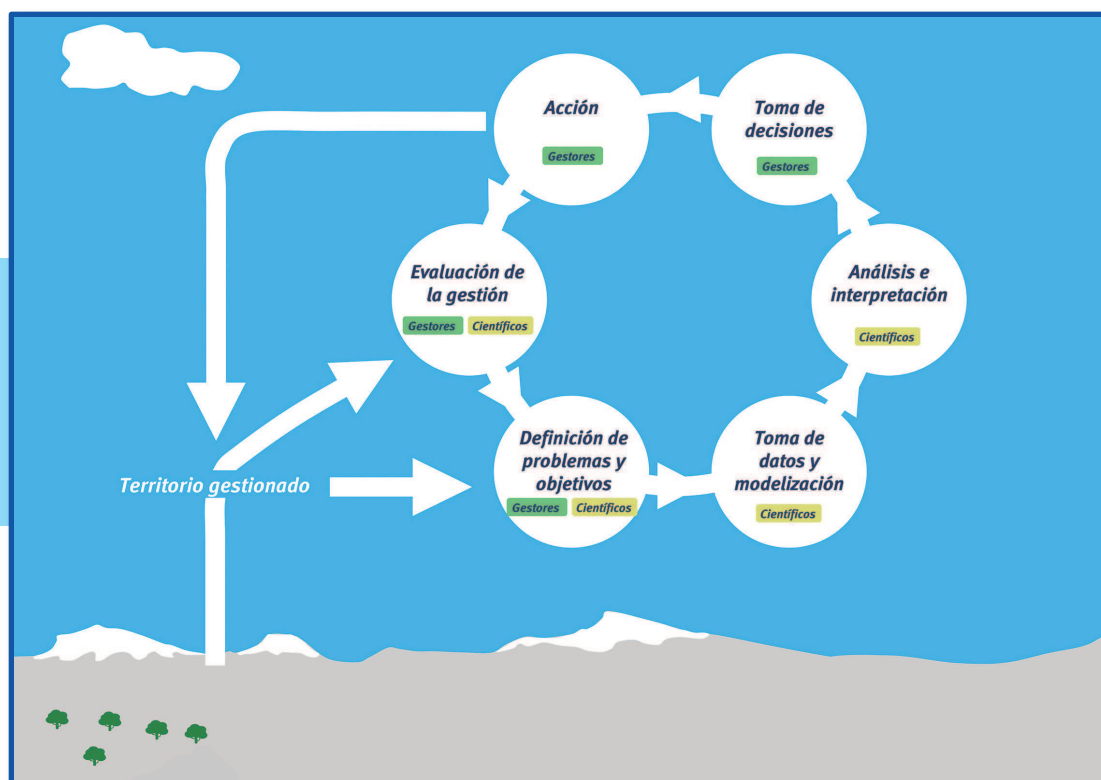
La certificación forestal de la *Forest Stewardship Council* (FSC) y del *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC) sobre la gestión y productos forestales puede favorecer la implementación de medidas de ACC en los bosques españoles. El consumo de productos certificados garantiza a los consumidores que estos productos proceden de unos bosques gestionados de manera responsable. Recientemente, la FSC ha incluido medidas de ACC en sus protocolos de certificación forestal, lo que promueve la adaptación de los bosques certificados. La superficie certificada en España



ha ido incrementándose progresivamente en los últimos años (en particular la certificación PEFC y FSC), y ha aumentado así la potencialidad de este instrumento como motor para la implementación de medidas de ACC en los bosques españoles (Capítulo 42).

La gestión adaptativa fundamentada en la transferencia de I+D de los científicos hacia los gestores es otro instrumento fundamental para la ACC y el uso sostenible de la biodiversidad. La gestión adaptativa contempla un flujo de la información y del conocimiento entre técnicos e investigadores en ambos sentidos y de forma iterativa con el fin de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. Esta colaboración debe desarrollarse dentro de un marco flexible, basado en un diálogo continuo y constante entre científicos y gestores. Esta colaboración debe ser bidireccional, con los gestores involucrados en las evaluaciones de impacto y vulnerabilidad, y los científicos recogiendo información de los resultados de la gestión y transfiriendo el conocimiento obtenido en investigación para el diseño de medidas de ACC. Es necesario crear contextos administrativos con apoyo financiero explícito que fomenten la colaboración entre estos dos colectivos, por ejemplo mediante nuevos programas de investigación donde puedan confluír investigadores, gestores y técnicos de empresas públicas y privadas. El desarrollo de proyectos de adaptación en espacios naturales protegidos supone una buena opción para la necesaria colaboración entre gestores, técnicos y científicos. Algunos espacios protegidos emblemáticos (p. ej. parques nacionales) podrían constituirse en un laboratorio experimental para la aplicación de medidas de adaptación, ya que generalmente disponen de equipos de gestores y mayores medios económicos que el resto del territorio. No obstante, el objetivo final debe ser extender a corto plazo la gestión adaptativa a un mayor número de montes y espacios naturales, independientemente del grado de protección legal del mismo. La interacción entre científicos y gestores en proyectos de adaptación es beneficiosa para ambos colectivos, con los gestores beneficiándose de la transferencia de información y los científicos de nuevas posibilidades de investigación con más medios e infraestructuras (p. ej. Capítulo 47, Figura 11).

■ **Figura 11.**



▲ **Figura 11.** Esquema que representa el ciclo de gestión adaptativa. Fuente: Zamora & Bonet (2015).

Ya a un nivel más operativo, la **selvicultura** permite llevar a cabo, mediante actuaciones concretas, los planteamientos y directrices señalados en la ordenación forestal. Así, la aplicación de diferentes tratamientos es una herramienta fundamental para favorecer el ajuste de los ecosistemas forestales frente al cambio climático observado y proyectado, tal y como constatan las descripciones de medidas de adaptación forestal actualmente propuestas y aplicadas en España (Rodríguez-Soalleiro et al. 2009, Serrada et al. 2011). La intensidad de dichas actuaciones dependerá en gran medida de cada caso particular y abarcará desde intervenciones más o menos intensas, hasta situaciones de no intervención dependiendo de los objetivos, los medios disponibles y de la situación de partida. La investigación y transferencia de conocimiento desde la ecología hacia la selvicultura resulta particularmente necesaria para la adaptación forestal, ya que muchos de los modelos y protocolos selvícolas se han desarrollado en función de objetivos y circunstancias diferentes a los actuales. Así, esta transferencia de conocimiento se hace necesaria para definir estrategias de adaptación fundamentadas científicamente. También es deseable el flujo en sentido contrario, de la selvicultura a la ecología, porque las experiencias forestales prácticas y la reacción de los ecosistemas a ellas son una base fundamental para la progresión de la ciencia ecológica.

En el actual contexto de incremento de la aridez, hay que tener en cuenta que los árboles más jóvenes son los más vulnerables a las sequías, reduciendo proporcionalmente más su crecimiento que los árboles adultos y presentando un

mayor riesgo de mortalidad (Capítulos 16 y 26). Por lo tanto, un alargamiento de los turnos o de las dimensiones mínimas de corta favorecería una mayor proporción de superficie boscosa de edad más avanzada y, por tanto, más resistente ante el cambio climático. Por el contrario, un acortamiento de turnos puede suponer tanto una pérdida de productividad como un incremento del riesgo de persistencia en zonas con condiciones ambientales especialmente adversas. Sin embargo, el acortamiento de un turno podría estar indicado cuando hay indicios de decaimiento y se quiere promover la colonización de otra especie más xerófila para ajustarse a un escenario climático de mayor aridez. Así, el acortamiento o alargamiento de turnos es un aspecto de gran relevancia en la gestión adaptativa de los bosques, y dependerá en gran medida de los objetivos de la gestión y los cambios en las condiciones ambientales. En este contexto, los turnos más largos son igualmente adecuados para la producción de madera de calidad, además de para promover una mayor abundancia de árboles viejos, que son estructuras de gran relevancia para la biodiversidad del bosque y, por tanto, para su resiliencia. Esta estrategia adaptativa de alargar el turno puede compatibilizarse con objetivos de mitigación, ya que por lo general, la capacidad del bosque de almacenar carbono a largo plazo se incrementa con el tiempo, y además los productos del bosque van destinados a usos más duraderos (Díaz-Balteiro & Romero 2004).

En cuanto a la densidad de las masas forestales, su ajuste en diferentes condiciones ambientales se presenta como una de los principales retos en la ACC. Por ejemplo, el conflicto entre la producción de biomasa y la escasez de agua es uno de los compromisos o “trade offs” más evidentes en la gestión forestal orientada a la ACC (Capítulo 28). El signo de las interacciones entre individuos de la misma o de diferente especie puede igualmente cambiar a lo largo de un gradiente ambiental, lo que modificará las condiciones de regeneración de una especie desaconsejando la aplicación de criterios o generales. Así, las interacciones de facilitación entre individuos de la misma o de diferente especie pueden favorecer la regeneración forestal en zonas donde ésta se encuentre limitada por condiciones de aridez o por herbívoros (Gómez-Aparicio et al. 2004). Esto requiere adaptar la cobertura de las diferentes especies (p. ej. fomentar la cobertura de especies arbustivas que actúan como facilitadoras de especies arbóreas) a las condiciones microclimáticas (p. ej. solana o umbría). En la Tabla 4 se muestran a modo de ejemplo algunas actuaciones y tratamientos selvícolas de utilidad para la ACC. Por otro lado, en la sección 4.3 (*Ejemplos de casos prácticos de adaptación forestal en España*) se describen algunos ejemplos de casos de estudio llevados a cabo en España.

En aquellos montes en un estado avanzado de degradación, la restauración ecológica puede suponer un importante instrumento para la adaptación, siempre y cuando considere los futuros escenarios climáticos y la incertidumbre asociada. En el actual contexto de cambio climático se prevé un aumento en la frecuencia e intensidad de perturbaciones y eventos climáticos extremos como los incendios forestales y las sequías extremas (Capítulo 34). Esto hará cada vez más necesaria la restauración ecológica de las zonas afectadas para la recuperación de procesos y servicios ecosistémicos. Estudios recientes proponen tratamientos específicos de la madera quemada para la recuperación del ecosistema y su adaptación al cambio climático (Capítulo 56). Un tratamiento posible supone agrupar los restos de madera quemada para que actúen de elemento nodriza para la regeneración de especies leñosas (reducen la temperatura y las tasas de herbivoría, y aumentan la humedad y el aporte de nutrientes), con la ventaja de que no ejerce ninguna competencia con el regenerado. En un escenario de incremento de la aridez, esta función nodriza puede resultar especialmente ventajosa. Además la madera quemada puede reducir la erosión y aumentar la heterogeneidad estructural de las zonas quemadas (Capítulo 56).

Otras actividades de restauración, como el establecimiento de bosquetes o islas forestales y setos en paisajes agrícolas, pueden cumplir importantes funciones de adaptación a la vez que incrementan la heterogeneidad estructural, proporcionan hábitats adecuados para especies forestales, y aumentan la conectividad entre fragmentos forestales adyacentes (Capítulo 57). Un paisaje mejor conectado puede ser crucial para facilitar las posibles migraciones de las especies en respuesta al desplazamiento de sus condiciones climáticas favorables.

El traslado de material de reproducción, juveniles o individuos adultos dentro, al margen y fuera de la distribución geográfica de las especies con el objetivo de anticiparse al futuro cambio climático se denomina **migración asistida** (MA) y es otro instrumento potencial de adaptación. Sin embargo, la MA es objeto de debate y no existe un consenso en la comunidad científica sobre su utilización (IUCN/SSC 2013, Capítulos 41 y 53). Muchas de las repoblaciones forestales realizadas en España el pasado siglo no tuvieron en cuenta la procedencia de la especie, lo que ha reducido el éxito de las mismas, ya que se podían introducir ecotipos poco adaptados a las condiciones locales. Las poblaciones locales son, en principio, las mejor adaptadas a las condiciones ambientales de su zona y pueden no soportar bien las condiciones de otras áreas geográficas, tal y como han demostrado en numerosas ocasiones los ensayos de procedencia. La MA puede ser especialmente válida para algunas especies longevas (con un limitado margen para la adaptación evolutiva) y una capacidad de dispersión limitada, como es el caso de algunas especies arbóreas. Sin embargo la MA puede acarrear invasiones biológicas, contaminación genética de las poblaciones receptoras, daños en la manipulación de las poblaciones a trasladar y posibles alteraciones de los servicios ecosistémicos, sin considerar los aspectos éticos que argumentan muchos de sus críticos. Debido a estos problemas, resulta necesario tener en cuenta la vulnerabilidad de las especies y la eficacia de posibles medidas de ACC antes de considerar la MA. La investigación sobre adaptación local mediante ensayos de procedencia y análisis genéticos pueden resultar de gran ayuda a la hora de aplicar la MA y de comprender las interacciones entre el genotipo y los futuros ambientes climáticos (Alberto et al. 2013, Capítulo 41). Actualmente está en desarrollo un proyecto que caracteriza el medio físico de localizaciones incluidas en el *Catálogo Nacional de Materiales Base* (cuyo objetivo es certificar el origen y la calidad del material genético) para la producción de semillas forestales y su posterior uso en repoblaciones forestales (Capítulo 55). De esta manera se asociará la procedencia de las semillas con una gran cantidad de variables climáticas, edáficas, estructurales y ecológicas. Iniciativas de este tipo permitirán el desarrollo de herramientas para el apoyo a la toma de decisiones que facilitarán la elección de la procedencia adecuada de semillas forestales para las condiciones actuales y los futuros escenarios de cambio climático (Capítulo 55). La MA ha sido igualmente propuesta como medida de adaptación para la fauna y flora en general, especialmente la más vulnerable por el calentamiento global (Araújo et al. 2011, Felicísimo et al. 2011).

■ **Tabla 4.**

<b>Actuación / Estrategia</b>	<b>Efecto</b>	<b>Objetivo de adaptación</b>
Claros	Reducir la densidad arbórea	Reducir la competencia por los recursos hídricos
Alargar los turnos de corta	Aumentar el número de árboles grandes y viejos	Aumentar la resistencia frente a sequías extremas y olas de calor
Claros a pequeña escala	Reducir la densidad arbórea en pequeños rodales dentro de la masa	Aumentar la heterogeneidad estructural incrementando la resiliencia frente a perturbaciones
Claros selectivos alrededor de especies de matorral	Favorecer la cobertura de matorral	Promover los procesos de facilitación que favorezcan el reclutamiento de especies arbóreas en un escenario de incremento de la aridez
Claros selectivos alrededor de especies arbóreas a promocionar	Favorecer la diversidad arbórea en la etapa de exclusión de fustes en el rodal	Incrementar la resiliencia frente a eventos climáticos extremos e incendios forestales
Cortas de regeneración anticipadas	Favorecer la presencia de distintas clases de edad y de tamaño	Incrementar la resiliencia frente a eventos climáticos extremos e incendios forestales
Claros precoces e intensas	Reducir la densidad arbórea	Aumentar el vigor de la masa y su resistencia frente a eventos climáticos extremos e incendios forestales
Resalveos en monte bajo	Reducir el número de pies y de rebrotes	Aumentar el vigor de la masa y su resistencia frente a eventos climáticos extremos e incendios forestales
Cortas de regeneración graduales y progresivas	Garantizar la regeneración en condiciones climáticas más adversas	Favorecer la regeneración e incrementar su resiliencia frente a periodos secos
Promover la regeneración natural	Selección natural bajo las nuevas condiciones ambientales	Favorecer la presencia de individuos mejor adaptados
Tratamientos para promover masas mixtas y la diversidad funcional	Efecto "portafolio" con diversificación de productos y servicios	Incrementar la resistencia y resiliencia frente a la sequía y otras perturbaciones

▲ **Tabla 4.** Principales ejemplos de actuaciones y estrategias selvícolas para la adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático, detallando efectos y objetivos.

### 4.2.3. Financiación y costes de la adaptación

- Las inversiones actuales en el ámbito de los bosques y la biodiversidad deben tener en cuenta la ACC. La financiación específica para el diseño y aplicación de estrategias y planes de adaptación es un aspecto clave, ya que en muchas ocasiones será necesaria para cumplir metas y objetivos específicos.
- La estimación de costes de adaptación, definidos como los costes asociados a planificar, preparar, facilitar e implementar medidas de adaptación, es necesaria para una planificación realista que fije prioridades y un análisis de los costes potenciales de los impactos y los beneficios de la adaptación.
- A pesar de los avances realizados en los últimos años en la valoración económica de los servicios ecosistémicos, la carencia de un valor de mercado o la falta de información acerca de las funciones ecológicas que derivan en servicios ecosistémicos, entre otros factores, dificultan la estimación de costes y beneficios en los ecosistemas.
- La **adaptación basada en los ecosistemas** permite determinar un nivel específico de adaptación objetivo (p.ej. un tamaño poblacional para una especie). Los costes de adaptación se calculan como la agregación de los costes unitarios de las medidas de adaptación aplicadas, y los beneficios son evaluados en términos ecológicos o físicos.
- La colaboración entre gestores, ecólogos y economistas resulta beneficiosa a la hora de trabajar la dimensión económica y financiera de la adaptación de los ecosistemas y sus costes.

La financiación para el diseño y aplicación de estrategias y planes de adaptación es un aspecto clave. A pesar de que la adaptación se puede integrar en la ordenación del territorio y en los PORN, en muchas ocasiones será necesaria financiación extra para cumplir metas y objetivos relacionados con el cambio climático. La gestión adaptativa, en cuyo contexto se deben desarrollar las medidas de ACC, exige un seguimiento constante de las actuaciones desarrolladas con el coste que ello conlleva (incluido el de formación del personal implicado). La adaptación, para ser viable, debe promover el aprovechamiento multifuncional del bosque no sólo compatible con la adaptación sino a menudo garante de la misma. Así, el aprovechamiento de la biomasa forestal puede ser compatible con los tratamientos de reducción de combustible para prevención de incendios forestales o de claras destinadas a reducir la densidad arbórea. Igualmente la diversificación de servicios y productos del monte está ligada al incremento de la heterogeneidad estructural y por tanto de la resiliencia, en actividades como la ganadería extensiva, la caza, y la preservación de hábitats para especies emblemáticas. En la actualidad un porcentaje de ayudas procedentes de fondos estructurales europeos para el medio rural están ligadas a la implementación de medidas de ACC, con lo que se hace indispensable que las administraciones estén formadas en este ámbito para planificar las medidas de adaptación pertinentes.

La estimación de costes de ACC, definidos como los costes asociados a planificar, preparar, facilitar e implementar medidas de adaptación es necesaria para poder llevar a cabo una planificación realista y coste-eficiente. Dicho análisis debe incluir los costes potenciales de los impactos y los beneficios de la adaptación, ya que la inacción puede resultar mucho más costosa económicamente que la adaptación. La estimación de costes y beneficios económicos en bosques y biodiversidad es hoy por hoy compleja, debido a que la mayoría de recursos y servicios ecosistémicos que se quieren salvaguardar carecen de un valor en el mercado (Capítulo 43). Sin embargo, en los últimos años se han realizado avances significativos en la valoración económica de los servicios ecosistémicos, con el objetivo de mantener las reservas de capital natural que permitan el suministro sostenido de flujo de servicios ecosistémicos en el futuro, para ayudar a garantizar la continuidad del bienestar humano (TEEB 2010). En nuestro país, el proyecto de Valoración de los Activos Naturales en España (Esteban 2010) ha realizado una primera aproximación para el conocimiento y la valoración de los bienes y servicios proporcionados por los recursos naturales en el territorio español, expresados en unidades de flujo (€/año). Aún así, valorar la totalidad de los servicios ecosistémicos de una determinada área resulta complejo, así como la valoración de los servicios de regulación (p.ej. depuración del agua), determinados valores de la biodiversidad o la resistencia y resiliencia de los ecosistemas en relación a su capacidad de proveer servicios (TEEB 2010). Esto, unido a la incertidumbre acerca de la efectividad de las medidas de adaptación y su reducida visibilidad en el corto plazo, ha provocado que los flujos monetarios derivados a estos fines sean inferiores a los invertidos en sectores como las infraestructuras o la agricultura.

En el sector agrario se han aplicado modelos de función de producción estimada que analizan el efecto del clima, las políticas agrarias y la tecnología en la producción agrícola, además de modelos que analizan los efectos de las posibles medidas de adaptación en la producción (Capítulo 44). En el caso de los bosques, la existencia de un mercado productivo como el de la madera facilita en parte la disponibilidad de datos económicos sobre costes y beneficios, pero no recoge de forma equitativa la variedad de servicios ecosistémicos que proporcionan los ecosistemas forestales. En el caso de la biodiversidad, la falta de información acerca de las funciones ecológicas que derivan en servicios ecosistémicos dificulta la estimación de los costes de adaptación (Capítulo 43). Así mismo, la aplicación de distintas metodologías de valoración económica puede dar pie a resultados distintos. En este contexto, la estimación de costes de adaptación fundamentados en la **adaptación basada en los ecosistemas** puede ayudar a solventar los problemas de coste-eficiencia, ya que se sustenta en la conservación y mantenimiento de los ecosistemas a niveles sostenibles, promoviendo la resiliencia del sistema al cambio climático, en concordancia con los objetivos generales de la adaptación (Capítulos 40 y 43).

Ante la dificultad de valorar económicamente los servicios ecosistémicos, la adaptación basada en los ecosistemas

contempla la posibilidad de determinar un nivel específico de adaptación a conseguir, como puede ser un tamaño poblacional para una especie o una extensión de superficie protegida (Capítulo 43). Los costes de adaptación finales se pueden estimar mediante la agregación de los costes unitarios de las medidas de adaptación que son aplicadas, y los beneficios de las medidas pueden considerarse en términos ecológicos o físicos, evaluando si se ha alcanzado el nivel objetivo de adaptación es decir, si la medida es efectiva. Por lo tanto, en lo que respecta a la estimación de costes de adaptación en bosques y biodiversidad, es necesario un enfoque diferente al de otros sectores donde los beneficios de adaptación pueden estimarse más fácilmente, como puede ser el Turismo o la Agricultura. En este contexto, la colaboración entre gestores, ecólogos y economistas resulta beneficiosa a la hora de trabajar la dimensión económica y financiera de la adaptación y sus costes en los bosques y la biodiversidad. La educación ambiental de la sociedad respecto al cambio climático y sus efectos en los ecosistemas puede favorecer el respaldo de ésta en la financiación de estrategias y medidas locales de adaptación en los bosques y la biodiversidad. Además, algunas de las inversiones ya en marcha tanto en la gestión forestal como en la conservación de la biodiversidad deberían reorientarse hacia medidas de ACC, con el fin de reducir las necesidades de financiación extra.

#### 4.2.4. Actores involucrados y ámbitos de actuación

- Los instrumentos para la ACC están asociados a diferentes actores y ámbitos de actuación.
- La coordinación entre los actores de los diferentes ámbitos de actuación es necesaria para fomentar la implementación y aumentar la eficacia de las estrategias y medidas de ACC.

Los principales instrumentos para la adaptación al cambio climático en España están asociados a los diferentes actores involucrados en la adaptación, así como a sus correspondientes ámbitos de actuación (ver Tabla 5). Es necesaria una coordinación entre todos los actores involucrados para fomentar la ejecución y aumentar la eficacia de las estrategias y medidas propuestas.

**Tabla 5.**

Instrumento	Tipo de Instrumento	Ámbito de actuación	Actores	Objetivos de adaptación
Marco normativo	Jurídico y administrativo	Sector público	Políticos, administración, propietarios particulares	Establecimiento de un marco regulador para la aplicación de medidas de adaptación, incluyendo su definición, alcance y el ámbito competencial para su aplicación
Custodia del territorio	Planificación, ejecución	Montes privados, entidades locales	Propietarios particulares, empresas, ONGs	Implementar medidas de adaptación en montes particulares y de entidades locales
Planificación forestal (Ordenación de Montes)	Planificación, ejecución	Espacios protegidos, montes públicos y privados	Propietarios y gestores forestales	Implementar medidas de adaptación en ecosistemas forestales
Proyectos de investigación y gestión (Colaboración científico-gestor)	Planificación, ejecución	Universidades, OPIs, espacios protegidos, sector público	Científicos, gestores y técnicos	Implementar medidas de adaptación en un marco de gestión adaptativa. Transferencia del conocimiento científico
Restauración ecológica	Ejecución	Espacios protegidos, montes públicos y privados	Científicos, gestores y técnicos	Implementar medidas de adaptación en las actividades de restauración ecológica
Financiación y costes de adaptación	Financiación	Universidades, OPIs, espacios protegidos, sector público	Científicos, gestores y técnicos	Estimación de costes de adaptación y propuestas de financiación. Justificación de la viabilidad de las inversiones en términos económicos y ecológicos

**Tabla 5.** Descripción de los principales instrumentos para la adaptación, detallando objetivos, ámbitos de actuación y actores involucrados.

## 4.3. Ejemplos de casos prácticos de adaptación forestal en España

### 1) Gestión forestal adaptativa en Menorca

El plan de gestión forestal adaptativa en Menorca pretende demostrar la viabilidad de la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático mediante actuaciones forestales a pequeña escala, formar a los diversos actores involucrados en la gestión forestal, y aumentar la sensibilidad de la sociedad frente a los impactos del cambio climático.

En la isla de Menorca se ha elaborado un plan para el desarrollo de una gestión forestal sostenible en un contexto de cambio climático. El plan tiene múltiples objetivos: demostrar la viabilidad de la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático mediante actuaciones forestales a pequeña escala, formar a los diversos actores involucrados en la gestión forestal, y aumentar la sensibilidad de la sociedad frente a los impactos del cambio climático. El plan ha contado con la participación de gestores de la Reserva de la Biosfera de Menorca y la Consejería de Medio Ambiente de las Islas Baleares, centros universitarios y de investigación, y diversos agentes sociales de Menorca. Se ha realizado una síntesis de los efectos del cambio climático en los bosques de Menorca, una definición de directrices de gestión forestal adaptativa a nivel de isla y la evaluación ambiental de la implementación de dichas directrices. Además, se ha diseñado un sistema de indicadores para las diferentes actividades consideradas en el plan, que en el caso de las actuaciones forestales permitirán evaluar sus efectos y replantearlas en caso de que fueran necesarias. Se puede consultar una descripción detallada del plan en el Capítulo 45 del presente informe.

### 2) Experiencias de gestión adaptativa en pinsapares (*Abies pinsapo*) andaluces

Las experiencias de gestión adaptativa llevadas a cabo en pinsapares andaluces (*Abies pinsapo*) han demostrado la importancia de la colaboración entre gestores y científicos, llevando a cabo ensayos de entresacas que han disminuido la vulnerabilidad al cambio climático de estas formaciones. Además, se está realizando un programa de seguimiento de las actuaciones realizadas, para evaluar sus efectos a largo plazo y diseñar actuaciones futuras.

En Andalucía se han realizado experiencias de gestión adaptativa en pinsapares (*Abies pinsapo*) relictos en un marco de colaboración entre gestores e investigadores. En estos pinsapares se han registrado eventos de mortalidad asociados al estrés climático por sequía y a la competencia entre individuos por los recursos hídricos. Con el fin de reducir la vulnerabilidad de los pinsapares al estrés climático, se desarrollaron ensayos de entresaca para aumentar la diversificación estructural en el pinsapar de Yunquera (Málaga). Una vez efectuadas las actuaciones, se está realizando un programa de seguimiento a largo plazo comparando variables climáticas, ecofisiológicas e hídricas entre parcelas entresacadas y parcelas control. El manejo mejoró el balance hídrico y energético de los individuos de las parcelas entresacadas, con una mejora de su crecimiento y una disminución de su vulnerabilidad al estrés hídrico. En el Capítulo 48 del presente informe se detallan las experiencias de gestión adaptativa en pinsapares andaluces, y se destaca la importancia de la colaboración entre gestores y científicos.

### 3) Actuaciones para la adaptación al cambio climático del monte bajo de roble melojo (*Quercus pyrenaica*) en el Moncayo

En las masas de monte bajo de roble melojo (*Quercus pyrenaica*) del Moncayo (Zaragoza) se han realizado intervenciones selvícolas de resalveo para su adaptación. La colaboración de gestores e investigadores, favorecida por la protección legal de estas formaciones, ha permitido la aplicación de diferentes tipos de tratamiento dependiendo del estado de la masa y las condiciones ambientales de la localidad. Las actuaciones han mejorado considerablemente el estado de conservación de estas formaciones, disminuyendo así su vulnerabilidad al cambio climático.

En las masas de monte bajo de roble melojo (*Quercus pyrenaica*) en la zona del Moncayo (Zaragoza) se han realizado intervenciones selvícolas para la adaptación de estas formaciones. En la aplicación y seguimiento de las actuaciones han participado gestores del Parque Natural del Moncayo e investigadores de la Universidad de Zaragoza. Los ‘montes bajos’ de roble melojo presentan una alta vulnerabilidad al incremento de la aridez y la ocurrencia de sequías extremas, además de una ausencia casi total de reproducción sexual. Estos montes bajos pueden tratarse mediante el ‘resalveo’, que consiste en la corta de pies dejando un número determinado de brotes o ‘resalvos’ para su desarrollo posterior, disminuyendo así la competencia y aumentando su crecimiento. Se han aplicado diferentes tipos de tratamientos basados en el resalveo dependiendo del estado de la masa, las condiciones ambientales de la localidad y el objetivo de la gestión. La efectividad de las actuaciones se constató mediante trabajos dendrométricos en parcelas con y sin tratamiento. El resalveo aumentó el crecimiento radial de los individuos incluso 17 años después de la corta. Además, se ha registrado el inicio de la producción de bellota, paso imprescindible para la conversión futura a monte alto. Sin embargo, es esperable que con el paso de los años se alcance un nivel de competencia entre individuos que establezca de nuevo un estado de limitación

de recursos. Por tanto, fijar la duración de las intervenciones de forma que se mantenga el crecimiento en valores altos se convierte en uno de los retos para la gestión de estos montes. En el Capítulo 49 del presente informe se detallan las diferentes intervenciones realizadas, y se resalta la importancia de la protección legal de las especies a la hora de implementar medidas de ACC.

#### 4) Naturalización de pinares en Sierra Nevada

En Sierra Nevada se han realizado actuaciones para la naturalización de pinares de repoblación con el objetivo de mejorar su estructura y funcionamiento, aumentando así su capacidad de resistencia y adaptación a los impactos del cambio climático. Las actuaciones se han llevado a cabo en un marco de colaboración entre los gestores, investigadores y miembros de la administración pública. Con los datos obtenidos se ha desarrollado un sistema de apoyo a la toma de decisiones que indicara a los gestores los lugares más apropiados para realizar futuras actuaciones.

En el Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada se han realizado actuaciones para la naturalización de pinares de repoblación con el objetivo de mejorar su estructura y funcionamiento, mejoras que redundarán en una mayor capacidad de estas formaciones de adaptarse y resistir los impactos del cambio climático. Las actuaciones se han llevado a cabo en un marco de colaboración entre los gestores de los espacios protegidos de Sierra Nevada, investigadores de la Universidad de Granada y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Con el objetivo de promover masas con una mayor heterogeneidad estructural y diversidad se han realizado claras con diferentes niveles de intensidad, acompañados del establecimiento de un programa de seguimiento en parcelas experimentales para evaluar los efectos de las actuaciones. Con los datos obtenidos se ha desarrollado un sistema de apoyo a la toma de decisiones, y se han generado así ‘mapas de gestión’ que indicarán a los gestores los lugares más adecuados para realizar las actuaciones. En el Capítulo 47 del presente informe se ofrece una descripción del proyecto, especificando los pasos a dar en un proyecto de ACC en el que colaboran gestores, técnicos y científicos.

#### 5) Selvicultura para la adaptación en los montes de Castilla y León

La Junta de Castilla y León está ejecutando diversas actuaciones selvícolas para la adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático, que incluyen cortas y aclareos con el objetivo de disminuir la competencia por los recursos hídricos, aumentar el crecimiento y anticipar la reproducción.

La Junta de Castilla y León está ejecutando diversas actuaciones selvícolas para la adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático en diferentes partes de su territorio. Estos tratamientos incluyen diferentes tipos de cortas con el objetivo de disminuir la competencia por los recursos hídricos, aumentar el crecimiento y anticipar la reproducción. Además, se han realizado nuevas propuestas de cortas de regeneración en pinares y actuaciones diversas para incrementar la diversidad específica y estructural de pinares y repoblaciones. En el Capítulo 46 se describen las actuaciones ejecutadas y las nuevas propuestas realizadas.

#### 4.4. Retos en la planificación y ejecución de la ACC en España

- Considerar conjuntamente todos los motores del cambio global (cambio climático, cambios de uso del suelo, expansión de especies invasoras, deposiciones de nitrógeno, etc.).
- Mantener y restaurar los servicios ecosistémicos desde una aproximación dinámica y en un escenario de incertidumbre.
- La gestión adaptativa como marco para la ACC, evaluando de manera continua los efectos de las medidas empleadas para poder replantearlas si fuera necesario.
- Empleo de múltiples herramientas: experimentación, seguimiento de actuaciones, modelos de proyección de impactos, herramientas de toma de decisiones y guías de buenas prácticas.
- Las medidas de ACC deben diseñarse y aplicarse dentro de una gestión anticipadora, considerando los escenarios climáticos futuros, para preservar los servicios ecosistémicos y aprovechar las posibles ventajas asociadas a las dinámicas climáticas proyectadas.
- Colaboración activa entre científicos y gestores: creación de proyectos que consideren simultáneamente objetivos de gestión e investigación.
- Estrategia Europea Horizonte 2020: generar programas de investigación transversales que integren a los diferentes agentes implicados en la adaptación (empresas, ONG's, administraciones públicas, entidades locales, etc.).
- La ordenación forestal como pieza clave para la implementación de medidas de ACC en los ecosistemas forestales, incorporando las nuevas demandas de la sociedad, como la producción de biomasa, la conservación de la diversidad biológica, la mitigación, etc.
- Activar programas de divulgación, sensibilización y formación en todos los actores implicados en la gestión y conservación de los ecosistemas.

España ha desarrollado un contexto adecuado para el desarrollo de estrategias y planes de ACC, y ha confeccionado un marco legal apropiado tanto a nivel estatal como autonómico mediante los diferentes instrumentos legales y administrativos. Igualmente se han realizado avances importantes en la incorporación de la adaptación en los diferentes sectores y en la planificación transversal de los mismos, así como en el fomento de la coordinación de las diferentes administraciones. A pesar de estos esfuerzos el número de proyectos ejecutados a escala local que tratan específicamente con la adaptación de los ecosistemas al cambio climático es todavía muy bajo y la gran mayoría de estos proyectos se circunscriben al ámbito de la gestión forestal (Capítulo 39). Se destacan aquí algunas directrices y retos a tener en cuenta para avanzar en el establecimiento de medidas de ACC:

- El cambio climático es tan solo uno de los motores del **cambio global** y como tal no puede abordarse de forma unilateral. Aspectos como los cambios de uso del suelo, la fragmentación y pérdida de hábitats, o la expansión de especies invasoras deben considerarse conjuntamente ya que presentan fuertes interacciones entre sí.
- Un objetivo central de la ACC debe ser el mantenimiento y restauración de procesos ecológicos y **servicios ecosistémicos**. Esto debe hacerse desde una aproximación dinámica y en un escenario de incertidumbre.
- La **gestión adaptativa** es un marco adecuado para la ACC debido a la incertidumbre sobre el clima futuro, la respuesta de los ecosistemas y la limitada experiencia en el diseño de estrategias de adaptación. Así, los efectos de las medidas de ACC deben evaluarse de manera constante para poder replantearse las medidas empleadas si fuera necesario.
- La **gestión adaptativa** debe incluir varias herramientas que pueden aplicarse de forma flexible en cada caso. Además de la experimentación y el seguimiento de las actuaciones, pueden utilizarse conjuntamente modelos de proyección de impactos, herramientas de toma de decisiones y guías de buenas prácticas.
- Las medidas de ACC deben diseñarse y aplicarse dentro de una **gestión anticipadora**, considerando los escenarios climáticos futuros, para preservar los servicios ecosistémicos y aprovechar las posibles ventajas asociadas a las nuevas condiciones climáticas, como un alargamiento del periodo vegetativo o un incremento de la producción forestal asociado al efecto fertilizador del CO<sub>2</sub>.
- Los proyectos de adaptación realizados en España conllevan en su mayoría una fructífera **colaboración entre científicos y gestores**. Resulta necesario fomentar esta colaboración creando proyectos que consideren simultáneamente objetivos de gestión e investigación, con programas específicos que incluyan convocatorias con apoyo prioritario a la formación de equipos híbridos y multidisciplinares, incluyendo la formación y contratación de personal especializado en la transferencia de resultados. Asimismo, la coordinación institucional entre las diferentes escalas de la administración pública es fundamental para el éxito de la ACC, en particular por la necesidad de establecer programas a largo plazo.



- Como resultado de estos proyectos es necesario profundizar en el diseño de una silvicultura de ACC que contemple entre otros los turnos, estructura y composición específica más adecuados para incrementar la **resistencia y resiliencia de las masas forestales** frente a extremos climáticos, principalmente las sequías.
- Los **sistemas forestales y silvopascícolas tradicionales** constituyen sistemas de un alto potencial para la adaptación al cambio climático siempre que se mantengan las condiciones de uso necesarias para su conservación. Por otro lado su abandono sin una gestión de transición puede resultar en procesos de decaimiento.
- Tal y como promueve la **Estrategia Europea Horizonte 2020** es necesario generar programas de investigación transversales con financiación específica que integren a los diferentes agentes implicados en la adaptación. Entre estos agentes se encuentran las empresas del sector, ONG's, administraciones públicas, entidades locales, propietarios, agentes forestales, ganaderos, maderistas, etc. Es necesario buscar soluciones de consenso entre los agentes implicados para garantizar la estabilidad y viabilidad económica de las medidas y estrategias de ACC.
- La **ordenación forestal**, de gran tradición en nuestro país, es un instrumento de primer orden para canalizar el desarrollo de medidas específicas de adaptación en el ámbito forestal. La ordenación forestal es una pieza clave en la implementación de medidas de ACC siempre que atienda las actuales demandas de la sociedad tales como la preservación de los servicios ecosistémicos, producción de biomasa, la conservación y fomento de la diversidad biológica, la mitigación, el uso público, etc. Esto es posible dentro de un escenario de gestión adaptativa que incorpore a los principales actores implicados.
- **Es necesario potenciar el conocimiento** en materia de cambio global en todos los actores implicados en la gestión y conservación de los ecosistemas desde investigadores y gestores a otros estamentos implicados: agricultores, ganaderos, asociaciones forestales, propietarios, empresarios y la población en general. Para ello es necesario activar programas de divulgación, sensibilización y formación.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

nº de referencias: 135

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) (2009) Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España
- Aitken SN, Yeaman S, Holliday JA, Wang T, Curtis-McLane S (2008) Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1:95-111
- Alberto FJ, Aitken SN, Alía R, González-Martínez SC, Hänninen H, Kremer A, Lefèvre F, Lenormand T, Yeaman S, Whetten R, Savolainen O (2013) Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Global Change Biology* 19:1645-1661
- Allen CD, Breshears DD (1998) Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95:14839-14842
- Araújo MB, Guilhaumon F, Neto DR, Pozo I, Calmaestra RG (2011) *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Fauna de vertebrados*. MAGRAMA, Madrid, España
- Barreira A, Rodríguez-Guerra M, Puig I, Brufao P (2010) *Estudio jurídico sobre la custodia del territorio*. Plataforma de Custodia del Territorio de la Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, España
- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylha K, Koffi B, Palutikof J, Scholl R, Semmler T, Woth K (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81:71-95
- Benito-Garzón M, de Dios RS, Ollero HS (2008) Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science* 11:169-178
- Benito-Garzón M, Alía R, Robson TM, Zavala MA (2011) Intra-specific variability and plasticity influence potential tree species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography* 20:766-778
- Benito-Garzón M, Ruiz-Benito P, Zavala MA (2013) Inter-specific differences in tree growth and mortality responses to climate determine potential species distribution limits in Iberian forests. *Global Ecology and Biogeography* 22:1141-1151
- Bonal R, Hernández M, Ortego J, Muñoz A, Espelta JM (2012) Positive cascade effects of forest fragmentation on acorn weevils mediated by seed size enlargement. *Insect Conservation and Diversity* 5:381-388
- Briffa KR, van der Schrier G, Jones PD (2009) Wet and dry summers in Europe since 1750: evidence of increasing drought. *International Journal of Climatology* 29:1894-1905
- Camarero JJ, Lloret F, Corcuera L, Gil-Pelegrín E (2008) Cambio global y decaimiento del bosque. En: Valladares F, editor. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Segunda edición*. Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid, España
- Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Suárez VA (2011). *Cambio Climático y Especies Exóticas Invasoras en España. Diagnóstico Preliminar y Bases de Conocimiento sobre Impactos y Vulnerabilidad*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 2. Mestre I, Casado MJ, Rodríguez J (2015) Proyecciones de cambio climático sobre España. Capítulo XX. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 3. Hampe A (2015) Vulnerabilidad y conservación de los relictos climáticos de larga duración. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 4. Escudero A, García-Camacho R, García-Fernández A, Giménez-Benavides L, Iriando JM, Lara-Romero C, Morente J, Pescador DS (2015) Vulnerabilidad al Cambio Climático de las plantas de alta montaña mediterránea. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 5. Sanz-Elorza M (2015) Efectos del cambio climático sobre la vegetación de la península ibérica. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 6. Moreno G, Manjón JL, Álvarez-Jiménez J (2015) Los hongos y el cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 7. Bosch J (2015) Implicaciones del cambio climático en la incidencia de los hongos quitridios patógenos de anfibios. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España

- Capítulo 8. Pleguezuelos JM (2015) Vulnerabilidad de los reptiles ibéricos al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 9. Gordo O (2015) Impactos del cambio climático en la migración de las aves ibéricas. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 10. Pérez-Tris J, Carbonell R, de la Hera I, Ramírez A, Tellería JL (2015) Conservación de poblaciones singulares ante el cambio climático: el caso de las currucas capirotadas ibéricas. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 11. Ortuño VM (2015) Los Artrópodos en el contexto del bosque como refugio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 12. Wilson RJ, Gutiérrez J, Gutiérrez D (2015) Cambios experimentados por la fauna de mariposas de la Sierra de Guadarrama entre los periodos 1967-1973 y 2004-2005. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 13. Aranda I (2015) Vulnerabilidad en la respuesta funcional de *Fagus sylvatica* L. ante un escenario de incremento en la intensificación y recurrencia de los periodos secos. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 14. Gil-Pelegrín E, Peguero-Pina JJ, Sancho-Knapik D (2015) La arquitectura hidráulica como un factor clave para la supervivencia del arbolado ante el incremento de la aridez. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 15. Matías L, Zamora R, Castro J (2015) Efectos del cambio climático sobre la regeneración del bosque montano mediterráneo. Capítulo XX. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 16. Ruiz-Benito P, Gómez-Aparicio L, Lines ER, Coomes DA, Zavala MA (2015) Efectos del clima y la estructura del rodal sobre procesos de mortalidad en los bosques Ibéricos. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 17. Miranda JD, Pugnaire FI (2015) Efecto del cambio de los patrones de precipitación sobre las comunidades vegetales semiáridas. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 18. Camarero JJ, Sangüesa-Barreda G, Linares JC (2015) El decaimiento de abetares pirenaicos como paradigma de vulnerabilidad de los bosques ante el cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 19. Linares JC, Tiscar PA, Camarero JJ, Sangüesa G, Domínguez-Clavijo M, Carreira JA (2015) Efectos del cambio climático sobre el crecimiento de *Abies pinsapo* y *Pinus nigra salzmannii* en el sur de la península ibérica. Tendencias pasadas, presentes y futuras. Capítulo XX. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 20. Sánchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo RM (2015) La sequía y la gestión histórica como factores del decaimiento forestal en las repoblaciones del sur peninsular. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 21. Vilà-Cabrera A, Galiano L, Martínez-Vilalta J (2015) Vulnerabilidad de los bosques ibéricos de pino albar ante el cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 22. Hódar JA (2015) Incidencia de la procesionaria del pino como consecuencia del cambio climático: previsiones y posibles soluciones. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 23. Sangüesa-Barreda G, Linares JC, Camarero JJ (2015) La sequía y el muérdago actúan como factores de estrés combinados en el decaimiento de bosques de pino silvestre. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 24. Vilá M, González-Moreno P, Montero-Castaño A (2015) Las Invasiones Biológicas bajo un escenario de Cambio Climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España

- Capítulo 25. Vayreda J, Gracia M, Martínez-Vilalta J, Canadell JG, Retana J (2015) Vulnerabilidad de los bosques españoles al cambio global: efectos sobre el stock y la capacidad de sumidero de carbono. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 26. Madrigal-González J, Hantson S, Zavala MA (2015) Vulnerabilidad en pinares continentales del centro Peninsular: ¿podría la creciente [CO<sub>2</sub>] contrarrestar los impactos negativos de la sequía? En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 27. Sabaté S, Nadal-Sala D, Gracia C (2015) Proyecciones sobre la evolución de los balances de carbono y agua para los bosques españoles. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 28. Gallart F (2015) Vulnerabilidades de los recursos hídricos en relación al cambio climático y a sus interacciones con los ecosistemas terrestres. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 29. Gallardo A, Delgado-Baquerizo M, Escolar C, Maestre FT (2015) Vulnerabilidad de los ciclos de nutrientes y los procesos edáficos frente a los principales impactos del cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 30. Guevara MA, Díaz-Sala C, Cervera MT (2015) Regulación epigenética de la respuesta adaptativa de las especies vegetales. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 31. Lloret F, Escudero A, Iriondo JM, Martínez-Vilalta J, Valladares F (2015) Mecanismos de estabilización y resiliencia de la vegetación frente a eventos climáticos extremos. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid
- Capítulo 32. Matesanz S, Valladares F (2015) El papel de la plasticidad fenotípica en la respuesta de la vegetación mediterránea al cambio global. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 33. Triviño M, Cabeza M, Thuiller W, Hickler T, Araújo MB (2015) Evaluación integral de riesgo ante al cambio climático para las aves de la Península Ibérica. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 34. Moreno JM, Urbieto IR, Bedia J, Gutiérrez JM, Vallejo VR (2015) Los incendios forestales en España ante al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 35. Lobo JM (2015) ¿Debemos fiarnos de los modelos de distribución de especies? En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 36. Zavala MA, Ruiz-Benito P, Benito-Garzón M, García-Valdés R (2015) Aplicación de Modelos de Distribución de Especies para analizar los efectos del cambio climático en bosques Ibéricos. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 37. García C, Garza R, Picatoste JR (2015) Marco normativo de la adaptación al cambio climático en España. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 38. Gómez-Calmaestra RG (2015) La protección legal como marco para las medidas de adaptación al cambio climático de las especies amenazadas en España. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 39. Aauri JA (2015) La importancia de los espacios protegidos en la adaptación al Cambio Climático en España: Una visión general. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 40. Rodríguez G (2015) Red Natura 2000, parte de la solución para la adaptación al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 41. Fernández-Manjarrés JF, Benito-Garzón M (2015) El debate de la migración asistida en los bosques de Europa Occidental. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 42. Martínez S, Estevez M, Anguita G (2015) La certificación forestal FSC como instrumento para la adaptación de los bosques al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España

- Capítulo 43. Ojea E (2015) Costes de Adaptación para los Bosques y la Biodiversidad. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 44. Quiroga S, Fernández-Haddad Z, Suárez C (2015) Metodologías para la evaluación económica de los impactos del cambio climático y la adaptación en el sector agrícola y forestal. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 45. Domingo J (2015) Gestión forestal adaptativa en Menorca. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 46. García-Güemes C, Calama R (2015) La práctica de la silvicultura adaptativa. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 47. Zamora RJ, Bonet FJ (2015) Experiencias en la transferencia científico-gestor en el Parque Nacional de Sierra Nevada, en el marco del proyecto de seguimiento de Cambio Global. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 48. Carreira JA, Viñepla B, Linares JC, Blanes MC, Lechuga V, Merino J, Carraro V, Taiqüi L, Haro R, López-Quintanilla JB (2015) Experiencias de manejo adaptativo derivadas de la retroalimentación investigación-gestión en los Pinsapares andaluces. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 49. Arrechea E (2015) Los efectos de las intervenciones selvícolas en las masas de monte bajo de *Quercus pirenaica* en los montes públicos de la Sierra del Moncayo. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 50. Sevilla F (2015) Gestión forestal anticipadora (o cómo prevenir riesgos con intervenciones frecuentes). En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 51. Tíscar PA, García-Abril AD, Aguilar MA, Solís A (2015) Gestión Forestal Próxima a la Naturaleza: fundamentación científica y principios para su aplicación en los pinares de montaña mediterráneos en un escenario de cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 52. Blanco JA, Imbert JB, Castillo FJ (2015) Adaptación al cambio climático en pinares pirenaicos: Controlando la densidad del rodal según el tipo de clima. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 53. Martín JL, Marrero MV, del Arco M, Garzón V (2015) Aspectos clave para un plan de adaptación de la biodiversidad terrestre de Canarias al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 54. Mosquera-Losada MR, Ferreiro-Domínguez N, Santiago-Freijanes JJ, Fernández-Núñez E, Rigueiro-Rodríguez A (2015) Los sistemas agroforestales como forma de gestión en la adaptación al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 55. Serrada R, Gómez-Sanz V (2015) Bases físicas para la elección de ecotipos en la restauración vegetal bajo escenarios de cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 56. Castro J, Leverkus AB, Guzmán-Álvarez JR (2015) Técnicas blandas para la restauración de zonas quemadas en ambientes mediterráneos. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Capítulo 57. Rey-Benayas JM (2015) Establecimiento de islas forestales y otras actuaciones de revegetación estratégica en paisajes agrícolas como mecanismo de adaptación al cambio climático. En: Herrero A, Zavala MA, editores. *Impactos, Vulnerabilidades y Adaptación de los Bosques y la Biodiversidad de España frente al cambio climático*. MAGRAMA, Madrid, España
- Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC, Mace GM (2011) Beyond Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science* 332:53-58
- Del Cacho M, Lloret F (2012) Resilience of Mediterranean shrubland to severe drought episode: the role of seed bank and seedling establishment. *Plant Biology* 14:458-466
- Díaz-Balterio LA, Romero C (2004) La captura de carbono y la gestión forestal. Monografías INIA: Serie Forestal
- Doi H, Gordo O, Katano I (2008) Heterogeneous intra-annual climatic changes drive different phenological responses at two trophic levels. *Climate Research* 36:181-190

- Duarte CM, Alonso S, Benito G, Dachs J, Montes C, Pardo M, Ríos AF, Simó R, Valladares F (2006). *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España
- Esteban F (2010) Valoración de los activos naturales de España. *Ambienta* 91:76-92
- FAO (2014) *State of the World's Forests. Enhancing the socioeconomic benefits from forests*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia
- Felicísimo AM, Muñoz J, Villalba CJ, Mateo RG (2011) *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. I. Flora y Vegetación*. MAGRAMA, Madrid, España
- FIC (Fundación para la Investigación del Clima) (2006) *Informe de ejecución del primer hito del contrato "Generación de Escenarios de cambio Climático en Andalucía"*. Expdte 539/2006/I/00. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla, España
- Galiano L, Martínez-Vilalta J, Lloret F (2010) Drought-Induced Multifactor Decline of Scots Pine in the Pyrenees and Potential Vegetation Change by the Expansion of Co-occurring Oak *Species*. *Ecosystems* 13:978-991
- Gamfeldt L, Snäll T, Bagchi R, Jonsson M, Gustafsson L, Kjellander P, Ruiz-Jaen MC, Froberg M, Stendahl J, Philipson CD, Mikusinski G, Andersson E, Westerlund B, Andren H, Moberg F, Moen J, Bengtsson J (2013) Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications* 4:1340
- García-Valdés R, Zavala MA, Araújo MB, Purves DW (2013) Chasing a moving target: projecting climate change-induced changes in non-equilibrium tree species distributions. *Journal of Ecology* 101:441-453
- Garland T, Kelly SA (2006) Phenotypic plasticity and experimental evolution. *Journal of Evolutionary Biology* 209:2344-2361
- Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63:90-104
- Gómez JM, González-Mejías A, Lorite J, Abdelaziz M, Perfectti F (2015) Climate change and the potential for hybridization-mediated extinction of endemic high-mountain plants: the silent extinction. *Biodiversity and Conservation* <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-015-0909-5>
- Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gomez JM, Hódar JA, Castro J, Baraza E (2004) Applying plant facilitation to forest restoration: A meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14:1128-1138
- González-Molina, JM, Piqué Nicolau M, Vericat Grau P (2006) Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya
- Gutiérrez A, Picatoste JR (2012) Evidencias del Cambio Climático y sus Efectos en España. MAGRAMA, Madrid, España
- Herrero A, Castro J, Zamora R, Delgado-Huertas A, Querejeta JI (2013) Growth and stable isotope signals associated with drought-related mortality in saplings of two coexisting pine species. *Oecologia* 173:1613-1624
- Herrero A, Zamora R (2014) Plant Responses to Extreme Climatic Events: A Field Test of Resilience Capacity at the Southern Range Edge. *Plos one* 9
- Hódar JA, Castro J, Zamora R (2003) Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biological Conservation* 110:123-129
- Holling CS (1996) Engineering resilience versus ecological resilience. En: Schulze P, editor. *Engineering within ecological constraints*. Washington: National Academy, Estados Unidos. pp. 31-44
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE, editores] Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido
- IPCC (2013) Resumen para responsables de políticas. En: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, editores. Cambio Climático 2013: Bases físicas. *Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América
- IPCC (2014) Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL, editores]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza
- IUCN/SSC (2013) Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, viiii + 57 pp. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2013-009.pdf>
- Jump AS, Matyas C, Peñuelas J (2009) The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution* 24:694-701
- Kawecki TJ, Ebert D (2004) Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters* 7:1225-1241

- Kelly CK, Chase MW, de Bruijn A, Fay MF, Woodward FI (2003) Temperature-based population segregation in birch. *Ecology Letters* 6:87-89
- Kuhlmann M, Guo D, Veldtman R, Donaldson J (2012) Consequences of warming up a hotspot: *species range shifts within a centre of bee diversity*. *Diversity and Distributions* 18:885-897
- Lehikoinen A, Lindén A, Byholm P, Ranta E, Saurola P, Valkama J, Kaitala V, Lindén H (2013) Impact of climate change and prey abundance on nesting success of a top predator, the goshawk. *Oecologia* 171:283-293
- Likens GE (1989) Long-term studies in Ecology. *Approaches and alternatives*. Springer-Verlag, New-York
- Linares JC, Senhadji K, Herrero A, Hódar JA (2014) Growth patterns at the southern range edge of Scots pine: Disentangling the effects of drought and defoliation by the pine processionary caterpillar. *Forest Ecology and Management* 315:129-137
- Lloret F, Escudero A, Iriando JM, Martínez-Vilalta J, Valladares F (2012) Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology* 18:797-805
- Luna Y, López JA, Guijarro JA (2012) Tendencias Observadas en España en Precipitación y Temperatura. *Revista Española de Física* 26:12-17
- MacGillivray CW, Grime JP, Band SR, Booth RE, Campbell B, et al (1995) Testing Predictions of the Resistance and Resilience of Vegetation Subjected to Extreme Events. *Functional Ecology* 9:640-649
- Madrigal A (1998) Problemática de la ordenación de masas artificiales en España. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 6:13-20
- Martínez-Vilalta J, Piñol J (2002) Drought-induced mortality and hydraulic architecture in pine populations of the NE Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 161:247-256
- Matías L, Castro J, Zamora R (2011) Soil-Nutrient Availability under a Global-Change Scenario in a Mediterranean Mountain Ecosystem. *Global Change Biology* 17:1646-57
- McDowell NG, Beerling DJ, Breshears DD, Fisher RA, Raffa KF, Stitt M (2011) The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in ecology & evolution* 26:523-532
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystem and human wellbeing: biodiversity synthesis*. Island Press, Washington DC., Estados Unidos de América
- MIMAM (2006) Estrategia de Conservación y uso sostenible de los recursos genéticos forestales. DGB, Madrid
- Oliet J, De la Hoz F, Abellanas B, Cuadros S, Fernández-Rebollo P, Zamora R (2005). *Manual de Ordenación de montes de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla
- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42
- Peñuelas J, Filella I, Comas P (2002) Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology* 8:531-544
- Peñuelas J, Ogaya R, Boada M, Jump AS (2007) Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30:829-837
- PEPNB (Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad) (2011) Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid, España
- PFE (Plan Forestal Español) (2002) Plan Forestal Español. Ministerio de medio Ambiente, Madrid, España
- Phillips CL, Nickerson N, Risk D, Bond BJ (2011) Interpreting diel hysteresis between soil respiration and temperature. *Global Change Biology* 17:515-527
- PNACC (Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático) (2014) *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: Tercer Programa de Trabajo (2014-20120)*. MAGRAMA, Madrid, España
- Polce C, Garratt MP, Termansen M, Ramirez-Villegas J, Challinor AJ, Lappage MG, Boatman ND, Crowe A, Endalew AM, Potts SG, Somerwill KE, Biesmeijer JC (2014) Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. *Global Change Biology* 20:2815-2828
- Rodríguez-Soalleiro R, Calama R, García-Güemes C, Cámara A (2009) *Expected Climate Change and Options for European Silviculture. Country report. SPAIN*. Cost Action FP-0703 ECHOES.
- Ruiz-Benito P, Lines ER, Gómez-Aparicio L, Zavala MA, Coomes DA (2013) Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition. *Plos One* 8:e56843
- Sánchez-Humanes B, Espelta JM (2011) Increased drought reduces acorn production in *Quercus ilex coccipes*: thinning mitigates this effect but only in the short term. *Forestry* 84:73-82
- Santandreu M, Lloret F (1999) Effect of flowering phenology and habitat on pollen limitation in *Erica multiflora*. *Canadian Journal of Botany* 77:734-743
- Sardans J, Peñuelas J, Prieto P, Estiarte M (2008) Drought and Warming Induced Changes in P and K Concentration and Accumulation in Plant Biomass and Soil in a Mediterranean Shrubland. *Plant and Soil* 306:261-271

- Schimel DS (1995) Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1:77-91
- Schwartzberg E, Jamieson M, Raffa K, Reich P, Montgomery R, Lindroth R (2014) Simulated climate warming alters phenological synchrony between an outbreak insect herbivore and host trees. *Oecologia* 175:1041-1049
- Serrada R, Aroca MJ, Roig S, Bravo A, Gómez V (2011) *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal*. MAGRAMA, Madrid, España
- TEEB (2010) La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio TEEB. Progress Press, Malta
- Thomey ML, Collins SL, Vargas R, Johnson JE, Brown RF, Natvig DO, Friggens MT (2011) Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland. *Global Change Biology* 17:1505-1515
- Triviño M, Cabeza M, Thuiller W, Hickler T, Araújo MB (2013) Risk assessment for Iberian birds under global change. *Biological Conservation* 168:192-200
- Vayreda J, Martínez-Vilalta J, Gracia M, Retana J (2012) Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology* 18:1028-1041
- Vilà-Cabrera A, Martínez-Vilalta J, Vayreda J, Retana J (2011) Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forests across the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* 21:1162-1172
- Wigley TML, Richels R, Edmonds JA (1996) Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Nature* 379:240-243



## 6. GLOSARIO

**Adaptación:** proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas para la sociedad. En los sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

**Adaptación basada en los ecosistemas:** uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia general de adaptación para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. La adaptación basada en el ecosistema utiliza la gama de oportunidades que presenta la gestión sostenible, la conservación y la restauración de ecosistemas para ofrecer servicios que permitan que las personas se adapten a los impactos del cambio climático. Su objetivo es mantener y aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas frente a los efectos adversos del cambio climático. La forma más adecuada de integrarla es mediante estrategias amplias de adaptación y desarrollo.

**Adaptación evolutiva:** se refiere a cambios en las características funcionales de una población como consecuencia de la selección natural sobre rasgos heredables.

**Adaptación local:** es el proceso de diferenciación genética entre poblaciones de una especie en respuesta a factores ambientales, en el que las poblaciones localmente adaptadas presentan una mayor eficacia reproductiva en su localidad de origen que otras poblaciones foráneas.

**Alelo:** un alelo es cada una de las formas alternativas que puede tener un mismo gen que se diferencian en su secuencia molecular y que se puede manifestar en modificaciones concretas de la función de ese gen.

**Cacuminal:** relativo a las cumbres. Organismos cacuminales o de alta montaña.

**Cambio climático:** cambio en el clima que puede ser identificado (p. ej. mediante el uso de técnicas estadísticas) por cambios en los valores promedios o en la variabilidad de sus propiedades, que persisten durante un periodo determinado, usualmente décadas o periodos superiores. El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a forzamientos externos como los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo. Esta definición difiere de la empleada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual en su artículo primero define el cambio climático como: ‘un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables’. Por lo tanto, la CMNUCC distingue entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica, y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

**Cambio global:** es un término genérico que describe los cambios a escala global en los sistemas, incluyendo el sistema climático, los ecosistemas y los sistemas socio-ecológicos. Como motores de cambio global se incluyen todas aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del planeta.

**Capacidad de adaptación:** se refiere a la capacidad de una especie, o de las poblaciones que la constituyen, de hacer frente al cambio climático persistiendo *in situ*, ocupando microhábitats locales más apropiados, o migrando a regiones climáticamente más favorables. Depende de factores como la plasticidad fenotípica, la diversidad genética, el potencial evolutivo, las historias de vida, y la habilidad de dispersión y colonización.

**Conductancia hidráulica:** representa la mayor o menor facilidad con la que un determinado medio deja pasar un fluido (usualmente el agua) a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo. En el caso de las plantas vasculares representa la capacidad de transportar agua de las raíces a las hojas por unidad de superficie.

**Correlación:** indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables estadísticas y su proporcionalidad.

**Costra biológica del suelo:** hace referencia al conjunto de especies vegetales no vasculares (líquenes, musgos, hepáticas) y microorganismos unicelulares o de organización simple (cianobacterias libres, hongos y algas) que habitan en el suelo, y a la estrecha relación que mantienen con la capa más superficial del mismo.

**Decaimiento forestal:** el conjunto de impactos (reducciones del crecimiento, defoliaciones y mortalidad) que pueden afectar a individuos de especies arbóreas en ecosistemas forestales debido a factores climáticos, bióticos, edáficos o su interacción.

**Demografía:** el estudio estadístico de la estructura y dinámica de las poblaciones, así como los procesos concretos que determinan su formación, conservación y desaparición, los cuales incluyen el reclutamiento, la mortalidad y la migración.

**Ecofisiología:** es la ciencia biológica que estudia las características fisiológicas de los organismos que les permiten vivir en un ambiente físico particular.

**Ecología:** relaciones de los seres vivos entre sí y con el medio en el que viven.

**Embolia por cavitación:** proceso por el cual se obstruye el camino hidráulico en el xilema (de las raíces a las hojas),

debido al desplazamiento del agua por parte de burbujas de aire a presión atmosférica (cavitación), que acaban ocupando el volumen del conducto xilemático (embolia). Un proceso de embolia por cavitación puede deberse a una lesión mecánica, a una tensión hídrica excesiva, o a ciclos de congelación y descongelación del agua xilemática.

**Enfermedad emergente:** problemas de salud identificados dentro de una historia relativamente actual, aproximadamente en los últimos 20 años.

**Epigenética:** estudio de cambios heredables en la función génica que se producen sin un cambio en la secuencia de las moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) y que son potencialmente reversibles.

**Escenarios de emisiones:** representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (p. ej. gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las determinan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico y la evolución tecnológica) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisión, se introducen en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas. En las últimas décadas se han desarrollado diferentes escenarios de emisiones utilizados para las proyecciones del clima publicadas en los diversos informes del IPCC. En el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones se publicaron las cuatro familias de escenarios (denominadas A1, A2, B1 y B2) basadas en líneas argumentales demográficas, sociales, económicas y técnicas. Estos escenarios se utilizaron para las proyecciones del clima expuestas en los capítulos 9, 10 y 11 del IPCC (informe 2001) y en los capítulos 10 y 11 del IPCC (informe 2007). Para el último informe del IPCC (2013-2014) se han desarrollado nuevos escenarios de emisiones para el cambio climático, descritos por cuatro trayectorias de concentración representativas.

**Especies invasoras:** aquellas que son introducidas por el ser humano fuera de su área nativa de distribución y que se naturalizan y expanden, produciendo cambios importantes en la composición, estructura o procesos de los ecosistemas, poniendo en peligro la diversidad biológica nativa.

**Exposición:** se refiere a la severidad del cambio climático que es probable que experimente una población o especie en una determinada localidad o región, y depende del porcentaje y magnitud del cambio en el clima.

**Facilitación:** relación entre individuos coexistentes, donde al menos uno de los individuos se beneficia de crecer junto al otro individuo y ninguno de los dos resulta perjudicado.

**Fenología:** ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente acoplados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y con el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar.

**Fenotipo:** es la expresión de un genotipo en función de un determinado ambiente.

**Fisiología:** es la ciencia biológica que estudia el funcionamiento de los seres vivos.

**Frecuencia génica (o frecuencia alélica):** es la proporción que se observa de un alelo específico respecto al conjunto de los que pueden ocupar un locus determinado en la población.

**Genotipo:** información genética que posee un organismo en particular, en forma de ADN. El genotipo, junto a factores ambientales que actúan sobre el ADN, determina las características del organismo, es decir, su fenotipo.

**Gestión adaptativa:** se define como un proceso iterativo de planificación, implementación y modificación de las estrategias de gestión en un contexto de incertidumbre y cambio constante.

**Gestión anticipadora:** se define como una gestión en la que se tiene en cuenta que el objeto de la misma tendrá que afrontar condiciones diferentes a las actuales, tratando de evitar los efectos negativos y aprovechar las oportunidades beneficiosas derivadas de las condiciones futuras proyectadas.

**Gestión sostenible:** una gestión económicamente viable, socialmente beneficiosa y ambientalmente respetuosa, gestionando los ecosistemas de manera que se preserven su estructura y los servicios que proveen a largo plazo.

**Impacto:** cualquier efecto específico y cuantificable en los sistemas naturales atribuible, al menos en parte, al cambio climático.

**Locus:** es una posición fija en un cromosoma, como la posición de un gen o un marcador genético. Una variante de la secuencia del ácido desoxirribonucleico (ADN) en un determinado locus se denomina alelo.

**Metapoblación:** un conjunto de poblaciones locales parcialmente aisladas entre sí.

**Mitigación:** el conjunto de intervenciones humanas dirigidas a frenar el proceso del cambio climático, a través de la disminución de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

**Modelos de Distribución de Especies (MDE):** son técnicas estadísticas que relacionan las condiciones climáticas con los rangos de distribución de las especies (i.e. presencia-ausencia o abundancia), proyectando los cambios esperados en la distribución de estas especies bajo escenarios de cambio climático.

**Monte bajo:** masa forestal formada por individuos coetáneos procedentes de rebrotes de cepa o raíz.

**Nicho ecológico:** posición relacional de una especie o población en un ecosistema. Se refiere también a la ‘ocupación’ o a la función que desempeña un determinado individuo dentro de una comunidad o al hábitat compartido por varias especies.

**Ontogenia:** describe el desarrollo de un organismo, desde el óvulo fertilizado hasta su senescencia, pasando por la forma adulta. La ontogenia es estudiada por la biología del desarrollo.

**Ordenación forestal (ordenación de montes):** es la planificación de las actuaciones a desarrollar sobre un monte, durante un plazo variable, para alcanzar los objetivos de su propietario y satisfacer, simultáneamente, las demandas de la sociedad. La ordenación forestal debe incidir sobre todos los elementos del sistema monte, tanto sobre sus valores vivos de fauna y de flora como sobre las infraestructuras que permiten su conservación y aprovechamiento. Se trata por tanto de una actividad multidimensional, que combina aspectos ecológicos, económicos y sociales, todos ellos de una gran complejidad; y al mismo tiempo se desarrolla con distintos niveles de vigencia: estratégicos, tácticos y ejecutivos.

**Plasticidad fenotípica:** se define como la capacidad de un genotipo (o población/especie) de expresar fenotipos distintos en diversos ambientes.

**Proyecciones climáticas:** son evoluciones posibles del clima para el siglo XXI, cuando se asumen diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero como datos de entrada en los Modelos Generales de Circulación.

**Proyecciones climáticas regionalizadas:** son evoluciones posibles del clima en regiones o países concretos (p. ej. área mediterránea o España), elaboradas a partir de proyecciones globales con un aumento de resolución espacial a escala regional. Estas proyecciones están especialmente diseñadas para su utilización en el análisis de impactos y adaptación al cambio climático.

**Reclutamiento:** se define como la supervivencia de un individuo hasta su inclusión en la población reproductiva de su especie.

**Resiliencia:** se define como la capacidad de un sistema (p.ej. individuo, población, ecosistema, etc.) de recuperar la estructura y función previas a una perturbación o cambio exógeno (p. ej. un incendio o una sequía extrema).

**Resistencia:** se define como la fuerza ejercida por un sistema (p.ej. individuo, población, ecosistema, etc.) en sentido opuesto al cambio provocado por una perturbación o cambio exógeno (p. ej. un incendio o una sequía extrema).

**Respiración del suelo:** es un proceso que refleja la actividad biológica del mismo y se pone de manifiesto a través del desprendimiento del CO<sub>2</sub> o el consumo de O<sub>2</sub> resultante del metabolismo de los organismos existentes del suelo.

**Selvicultura:** aplicación práctica de técnicas de gestión y conservación, entre otros fines, del monte, incluyendo el estudio, elaboración, análisis y perfeccionamiento de tales técnicas.

**Sensibilidad:** el grado en el que el crecimiento, reproducción, reclutamiento o supervivencia de los individuos de una población (de una determinada especie) dependen del clima, particularmente de variables climáticas que probablemente sufran cambios importantes en un futuro próximo (20-50 años). Las poblaciones más sensibles serán las que sufran mayores reducciones en el crecimiento, la reproducción, el reclutamiento o la supervivencia con cambios más pequeños en las variables climáticas. A nivel de especie, la sensibilidad se puede definir como el grado en el que la persistencia de las diferentes poblaciones que constituyen una especie depende del clima.

**Servicios ecosistémicos:** contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano, pudiéndose diferenciar tres tipos esenciales de servicios: abastecimiento, regulación y culturales. Los servicios de abastecimiento se derivan de la estructura biótica (p. ej. madera) y geótica (p. ej. la sal continental) del ecosistema. Los servicios de regulación proceden del funcionamiento de los ecosistemas (p. ej. la regulación climática). Por último, los servicios culturales suponen contribuciones intangibles que la población humana obtiene a través de su experiencia directa con los ecosistemas y su biodiversidad (p. ej. el disfrute estético de los paisajes).

**Silvopascícola:** los sistemas silvopascícolas son aquellos que unen en el mismo espacio, o están relacionados, elementos y aprovechamientos forestales y ganaderos.

**Temperatura pivotal:** temperatura de incubación del nido que produce una razón de sexos 1:1 en especies de réptiles e invertebrados en las que la determinación del sexo de los neonatos es dependiente de la temperatura.

**Teoría moderna del portafolio:** teoría de inversión que estudia como maximizar el retorno y minimizar el riesgo, mediante una adecuada elección de los componentes de una cartera de valores.

**Umbral:** valor mínimo de una magnitud a partir del cual se produce un efecto determinado.

**Vulnerabilidad:** el grado en el que un sistema es susceptible, e incapaz de hacer frente, a los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad consta de tres componentes: exposición, sensibilidad, y capacidad de adaptación.

## ■ 7. ACRÓNIMOS

**ACC:** Adaptación al Cambio Climático

**AEMET:** Agencia Estatal de Meteorología

**AGE:** Administración General del Estado

**AR5:** Quinto Informe de Evaluación

**CCAA:** Comunidades Autónomas

**CMNUCC:** Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

**CSIC:** Consejo Superior de Investigaciones Científicas

**FAO:** Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

**FSC:** Forest Stewardship Council (Consejo para la Administración Forestal)

**GTII:** Grupo de Trabajo II

**I+D:** Investigación más Desarrollo

**IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

**IUCN:** International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)

**LTER:** Long Term Ecological Research Network (Red de Investigación Ecológica a Largo Plazo)

**MA:** Migración Asistida

**MDE:** Modelo de Distribución de Especies.

**ONG:** Organismo no Gubernamental

**OPI:** Organismo Público de Investigación

**PEFC:** Programme for the Endorsement of Forest Certification (Programa para la Aprobación de la Certificación Forestal)

**PEPNB:** Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad

**PFE:** Plan Forestal Español

**PNACC:** Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

**PORF:** Planes de Ordenación de los Recursos Forestales

**PORN:** Planes de Ordenación de los Recursos Naturales

**TEEB:** The Economics of Ecosystems and Biodiversity (La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad)

**1PT:** Primer Programa de Trabajo

**2PT:** Segundo Programa de Trabajo

**3PT:** Tercer Programa de Trabajo

## 8. LISTA DE AUTORES CONTRIBUYENTES

- Aguilar Larrucea, Miguel  
Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.  
Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, España.
- Álvarez Jiménez, Julio  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- Anguila Alegret, Gonzalo  
Forest Stewardship Council (FSC) España, España.
- Aranda García, Ismael  
Departamento de Ecología y Genética Forestal, Centro de Investigación Forestal, INIA, España.
- Arrechea Veramendi, Enrique  
Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Zaragoza, Gobierno de Aragón, España.
- Atauri Mezquida, José Antonio  
EUROPARC-España, España.
- Bastos Araújo, Miguel  
Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.  
Universidad de Évora, Portugal.  
Centro de Macroecología, Evolución y Clima, Universidad de Copenhague, Dinamarca.
- Bedía Jiménez, Joaquín  
Grupo de Meteorología, Instituto de Física de Cantabria, CSIC, España.
- Benito Garzón, Marta  
Laboratorio de Ecología, Sistemática y Evolución, Universidad de París Sur, Francia.  
Centro Internacional de Investigación Ambiental y del Desarrollo (CIRED-CNRS), Francia.
- Blanco Vaca, Juan Antonio  
Departamento de Ciencias del Medio Natural, Universidad Pública de Navarra, España.
- Blanes Arbeloa, María del Carmen  
Área de Ecología, Universidad de Jaén, España.
- Bonet García, Francisco Javier  
Centro Andaluz de Medio Ambiente (CEAMA), Universidad de Granada, España.
- Bosch Pérez, Jaime  
Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.
- Cabeza Jaimejuan, Mar  
Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.  
Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de Helsinki, Finlandia.
- Calama Sainz, Rafael  
Departamento de Selvicultura y Gestión Forestal, Centro de Investigación Forestal, INIA, España.
- Camarero Martínez, Jesús Julio  
Departamento de Biodiversidad y Restauración, Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, España.  
Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, España.
- Canadell Gili, Josep  
Proyecto de Carbono Global, Organización para la Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth (CSIRO), Australia.
- Carbonell Alanís, Roberto  
Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Carraro, Vinicio  
Departamento de Medio Ambiente, Agricultura y Ciencias Forestales, Universidad de Padua, Italia.
- Carreira de la Fuente, José Antonio  
Área de Ecología, Universidad de Jaén, España.

- Casado Calle, María Jesús  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), España.
- Castillo Martínez, Federico José  
Departamento de Ciencias del Medio Natural, Universidad Pública de Navarra, España.
- Castro Gutiérrez, Jorge  
Departamento de Ecología, Universidad de Granada, España.
- Cervera Goy, María Teresa  
Departamento de Ecología y Genética Forestal, Centro de Investigación Forestal, INIA, España.  
Unidad Mixta de Genómica y Ecofisiología Forestal, INIA/UPM, España.
- Coomes, David A.  
Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Cambridge, Reino Unido.
- Cuenca Bescós, Gloria  
Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, España.
- de la Hera Fernández, Iván  
Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad Complutense de Madrid, España.
- del Arco Aguilar, Marcelino  
Departamento de Biología Vegetal, Universidad de la Laguna, España.
- Delgado Baquerizo, Manuel  
Instituto Hawkesbury para el Medio Ambiente, Universidad de Sydney Occidental, Australia.
- Díaz Sala, Carmen  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- Domingo Yerbes, José  
Ingeniero de Montes. Profesional independiente.
- Domínguez Clavijo, Mercedes  
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo Olavide, España.
- Escudero Alcántara, Adrián  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Estévez Malvar, Marcos  
Forest Stewardship Council (FSC) España, España.
- Fernández Haddad, Zaira  
Departamento de Economía, Universidad de Alcalá, España.
- Fernández Manjarrés, Juan F.  
Laboratorio de Ecología, Sistemática y Evolución, Universidad de París Sur, Francia.
- Fernández Nuñez, Esther  
Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Ferreiro Domínguez, Nuria  
Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Galiano Pérez, Lucía  
Departamento de Dinámica Forestal, Instituto Federal Suizo para la Investigación del Paisaje, la Nieve y los Bosques (WSL), Suiza.  
Centro de Leibniz para la Investigación Agraria (ZALF), Alemania.
- Gallardo Palacios, Antonio  
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo Olavide, España.
- Gallart Gallego, Francesc  
Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), CSIC, España.
- García Abril, Antonio Damián  
Escuela Técnica Superior de Ingeniero de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, España.

- García Camacho, Raúl  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- García Díaz, Cristina  
Oficina Española del Cambio Climático (OECC), España.
- García Fernández, Alfredo  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- García Güemes, Carlos  
Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos, Junta de Castilla y León.
- García Manjón, José Luis  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- García Valdés, Raúl  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.  
Centro de Ecología Funcional y Evolutiva (CEFE-CNRS), Francia.
- Garza Garrido, Raquel  
Oficina Española del Cambio Climático (OECC), España.
- Garzón Machado, Víctor  
Departamento de Biología Vegetal, Universidad de la Laguna, España.
- Gil Pelegrín, Eustaquio  
Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, España.
- Gímenez Benavides, Luis  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Gómez Aparicio, Lorena  
Departamento de Geoecología, Biogeoquímica y Microbiología Ambiental, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC, España.
- Gómez Calmaestra, Ricardo  
Subdirección General del Medio Natural, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España.
- Gómez Sanz, Valentín  
Grupo de Investigación ECOGESFOR, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- González Moreno, Pablo  
Estación Biológica de Doñana, CSIC, España.
- Gordo Alcoy, Oscar  
Departamento de Biología de la Conservación, Estación Biológica de Doñana, CSIC, España.
- Gracia Alonso, Carles  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Gràcia Moya, Marc  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Guevara Morato, María Ángeles  
Departamento de Ecología y Genética Forestal, Centro de Investigación Forestal, INIA, España.  
Unidad Mixta de Genómica y Ecofisiología Forestal, INIA/UPM, España.
- Gutiérrez García, Daniel  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Gutiérrez Illán, Javier  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.  
Departamento de Ecosistemas Forestales y Sociedad, Universidad Estatal de Oregón, Estados Unidos.
- Gutiérrez Llorente, José Manuel  
Grupo de Meteorología, Instituto de Física de Cantabria, CSIC, España.

- Guzmán Álvarez, José Ramón  
Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.
- Hampe, Arndt  
Instituto Nacional de Investigación Agraria (INRA), Francia.  
Universidad de Burdeos, Francia.
- Hantson, Stijn  
Departamento de Geografía y Geología, Universidad de Alcalá, España.  
Instituto de Meteorología e Investigación Climática - Investigación Atmosférica Ambiental (IMK-IFU), Alemania.
- Haro Ramos, Rafael  
Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España.
- Hickler, Thomas  
Centro de Investigación para el Clima y la Biodiversidad (BIK-F), Alemania.  
Departamento de Geografía Física, Universidad de Goethe, Alemania.  
Departamento de Geografía Física y Análisis Ecosistémico, Universidad de Lund, Suecia.
- Hódar Correa, José Antonio  
Departamento de Ecología, Universidad de Granada, España.
- Imbert Rodríguez, Juan Bosco  
Departamento de Ciencias del Medio Natural, Universidad Pública de Navarra, España.
- Iriondo Alegría, José María  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Lara Romero, Carlos  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Lechuga Ordoñez, Víctor  
Área de Ecología, Universidad de Jaén, España.
- Leverkus, Alex B.  
Departamento de Ecología, Universidad de Granada, España.
- Linares Calderón, Juan Carlos  
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo Olavide, España.
- Lines, Emily R.  
Departamento de Biología vegetal, Universidad de Cambridge, Reino Unido.  
Departamento de Geografía, Universidad College de Londres, Reino Unido.
- Lloret Maya, Francisco  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- López Quintanilla, José B.  
Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España.
- Madrigal González, Jaime  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- Maestre Gil, Fernando Tomás  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Marrero Gómez, Manuel Víctor  
Parque Nacional del Teide, España.
- Martín Esquivel, José Luis  
Parque Nacional del Teide, España.
- Martínez Martínez, Silvia  
Forest Stewardship Council (FSC) España, España.
- Martínez Mendizábal, Ignacio  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.



- Martínez Vilalta, Jordi  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Matesanz García, Silvia  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Matías Resina, Luís  
Departamento de Ecología, Universidad de Granada, España.  
Escuela de Ciencias Naturales, Universidad de Stirling, Reino Unido.
- Merino Ortega, José Ángel  
Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo Olavide, España.
- Mestre Guillén, Irene  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), España.
- Miguel Lobo, Jorge  
Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.
- Miranda López-Marín, Juan de Dios  
Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC, España.  
Centro de Tecnología Repsol, España.
- Montero Castaño, Ana  
Estación Biológica de Doñana, CSIC, España.
- Moreno Horcajada, Gabriel  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- Moreno Rodríguez, José Manuel  
Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, España.
- Morente López, Javier  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Mosquera Losada, María Rosa  
Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Nadal Sala, Daniel  
Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona, España.
- Navarro Cerrillo, Rafael María  
Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, España.
- Ojea Fernández-Colmeiro, Elena  
Basque Centre for Climate Change (BC3), España.
- Ortuño Hernández, Vicente Manuel  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.
- Peguero Pina, José Javier  
Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, España.  
Departamento de Biología, Universidad de las Islas Baleares, España.
- Pérez Tris, Javier  
Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Picatoste Ruggeroni, José Ramón  
Oficina Española del Cambio Climático (OECC), España.
- Pleguezuelos Gómez, Juan Manuel  
Departamento de Zoología, Universidad de Granada, España.
- Pugnaire de Iraola, Francisco Ignacio  
Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC, España.
- Quiroga Gómez, Sonia  
Departamento de Economía, Universidad de Alcalá, España.

- Ramírez García, Álvaro  
Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Retana Alumbrreros, Javier  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Rey Benayas, José María  
Departamento de Ciencias de la Vida, universidad de Alcalá, España.
- Rigueiro Rodríguez, Antonio  
Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Rodríguez Cáceres, Gema  
Programa de Biodiversidad, WWF España, España.
- Rodríguez Camino, Ernesto  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), España.
- Rodríguez Urbieto, Itziar  
Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha, España.
- Ruiz Benito, Paloma  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.  
Escuela de Ciencias Naturales, Universidad de Stirling, Reino Unido.
- Sabaté Jorba, Santiago  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Sánchez Pescador, David  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Sánchez Salguero, Raúl  
Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba, España.
- Sancho Knapik, Domingo  
Unidad de Recursos Forestales, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria, España.
- Sangüesa Barreda, Gabriel  
Departamento de Biodiversidad y Restauración, Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, España.
- Santiago Freijanes, José Javier  
Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Sanz Elorza, Mario  
Investigador independiente.
- Serrada Hierro, Rafael  
Grupo de Investigación ECOGESFOR, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Sevilla Martínez, Froilán  
Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos, Junta de Castilla y León.
- Solís Camba, Antonio  
Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- Suárez Gálvez, Cristina  
Departamento de Economía, Universidad de Alcalá, España.
- Taiqūi Azzabi, Lahcen  
Facultad de Ciencias, Universidad Abdelmalek Essaadi-Mhannech II, Marruecos.
- Tellería Jorge, José Luís  
Departamento de Zoología y Antropología Física, Universidad Complutense de Madrid, España.
- Thuiller, Wilfried  
Laboratorio de Ecología Alpina, Universidad de Grenoble Los Alpes, Francia.

- Tiscar Oliver, Pedro Antonio  
Centro de Capacitación y Experimentación Forestal de Cazorla, España.
- Triviño De la Cal, María  
Departamento de Biogeografía y Cambio Global, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.  
Departamento de Biología y Ciencias Ambientales, Universidad de Jyväskylä, Finlandia.
- Valladares Ros, Fernando  
Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, España.
- Vallejo Calzada, V. Ramón  
Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Barcelona, España.  
Investigación Forestal, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), España.
- Vayreda Duran, Jordi  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Vilà Cabrera, Albert  
Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) - Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), España.
- Vilà Planella, Montserrat  
Estación Biológica de Doñana, CSIC, España.
- Viñegla Pérez, Benjamín  
Área de Ecología, Universidad de Jaén, España.
- Wilson, Robert J.  
Universidad de Exeter, Reino Unido.  
Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.
- Zamora Rodríguez, Regino  
Departamento de Ecología, Universidad de Granada, España.  
Centro Andaluz de Medio Ambiente (CEAMA), Universidad de Granada, España.
- Zavala Gironés, Miguel Ángel de  
Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de Alcalá, España.