

La gestión forestal como herramienta para la adaptación al cambio climático: ¿realidad o ficción científica?

Rafael Calama Sainz

*Dpto. Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales. INIA-CIFOR.
iuFOR Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible UVA-INIA.
Ctra A Coruña km 7.5. 28040 Madrid*

*Autor para correspondencia: rcalama@inia.es

Resumen

Los bosques - en especial los localizados en zonas de transición como la cuenca mediterránea – constituyen uno de los sistemas naturales de mayor vulnerabilidad frente a los potenciales efectos del cambio climático. Dentro de este contexto, la adaptación planificada se define como el conjunto de iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas forestales, garantizar su conservación, aumentar su capacidad de resistencia y resiliencia, y asegurar la provisión de los servicios ecosistémicos ante escenarios de cambio. La gestión racional de los sistemas y terrenos forestales se presenta como una herramienta útil para la adaptación de los bosques y de otros sectores y sistemas relacionados, como el de los recursos hídricos. En la ponencia se expondrán de forma crítica los principios que fundamentan las bases de una gestión forestal para la adaptación al cambio climático. Asimismo, se presentarán los condicionantes que limitan la aplicación práctica de estos principios, y se plantearán diferentes propuestas para su implementación y aplicación a la gestión práctica de los sistemas forestales.

Palabras clave: gestión proactiva, gestión anticipadora, gestión adaptativa, selvicultura.

1. Cambio climático y bosques: impactos observados y esperados

Desde la última década del siglo XX, a partir de la constitución del IPCC (panel internacional de expertos sobre el cambio climático 1990), las evidencias científicas acerca de la ocurrencia de procesos de cambio climático de origen antropogénico se han ido acumulando de manera notable (IPCC, 2014). Aunque con grandes variaciones a nivel local y regional, los registros climáticos demuestran un incremento observado en la temperatura media anual del planeta superior a 1°C en el periodo 1880-2016, con una marcada tendencia creciente, contabilizándose desde el año 2001 al 2016 dieciséis de los diecisiete años más calurosos registrados desde que existen datos (*Figura 1*). Este aumento en la temperatura global viene acompañado por un incremento del 10% en el número de días extremadamente cálidos por año, mayor frecuencia y extensión de las zonas bajo sequía severa, y pérdida de la cubierta de nieve y superficies glaciares (NOAA, 2017).

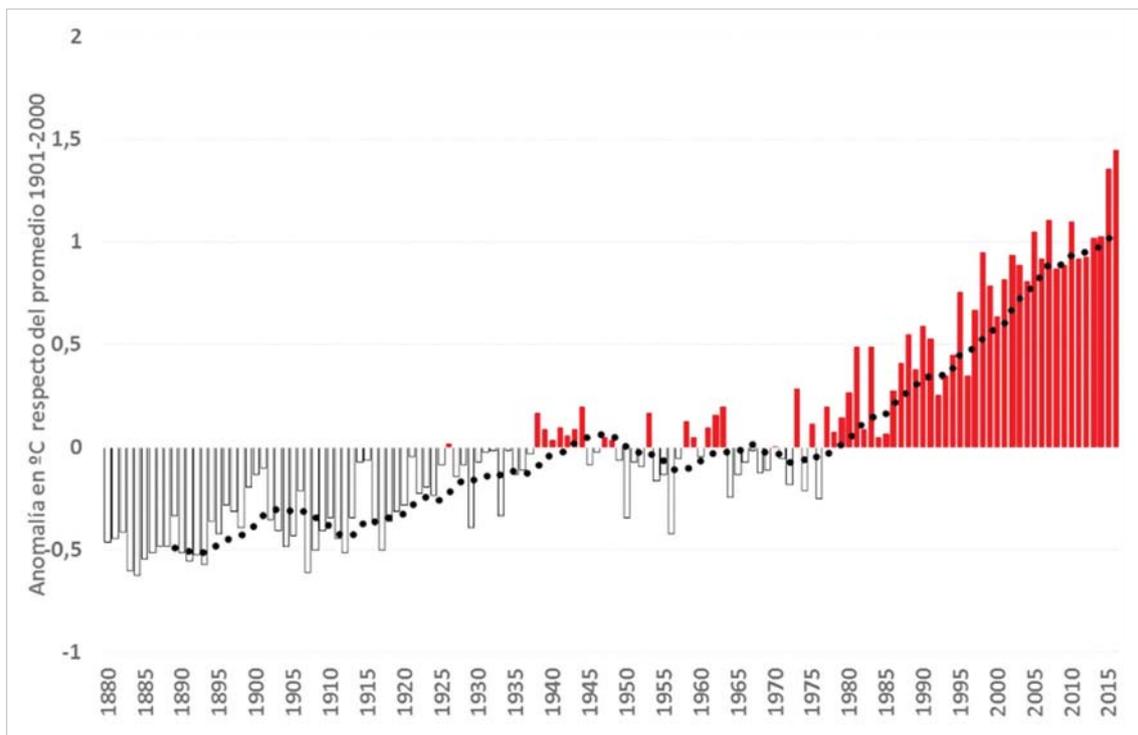


Figura 1. Anomalía térmica en la temperatura media anual del planeta, respecto al promedio del siglo XX. La línea de puntos representa la media móvil para 10 años. Elaboración propia a partir de datos de NOAA, 2017.

Con respecto a las proyecciones climáticas futuras definidas por el IPCC, basadas en los nuevos escenarios de emisión (RCP, representative concentration pathways, identificados por el forzamiento total en el año 2100, que variará entre 2.6 W/m² a 8.5 W/m²) los modelos predicen un calentamiento global adicional al existen-

te, que puede llegar en alguno de los escenarios a incrementos de la temperatura superiores a 4 °C. La región mediterránea en general, y nuestro país en particular, no son ajenos ni a la tendencia observada en el aumento de la temperatura en el último siglo ni a las proyecciones esperadas hasta final del siglo XXI. En el caso de la cuenca mediterránea los modelos predicen además significativas reducciones en la precipitación (hasta un 25% en escenarios más desfavorables), reducción de número de días de lluvia y aumento en la duración de los periodos de sequía (Mestre *et al.* 2015).

Los bosques —en especial los localizados en zonas de transición como la cuenca mediterránea— constituyen uno de los sistemas naturales de mayor vulnerabilidad frente a los potenciales efectos del cambio climático (Settele *et al.* 2014; Lindner y Calama, 2013). A lo largo de las últimas décadas se han recopilado información y evidencias sobre distintos efectos e impactos observados en los bosques atribuibles en mayor o menor grado a las nuevas condiciones climáticas (p.ej, Lindner *et al.* 2010, Spathelf *et al.* 2013). De igual manera, se han descrito las potenciales vulnerabilidades de los sistemas forestales ante los futuros escenarios de cambio propuestos para las próximas décadas, y los efectos que podrían desencadenarse en los mismos. Una consideración adicional es la potencial interacción y sinergia entre los cambios observados/esperados en el clima y otros factores de tipo social y económico, como son el progresivo abandono rural e incremento de la población urbana en amplias zonas del planeta, la desaparición de prácticas tradicionales de gestión del territorio, la sustitución en el medio rural de fuentes tradicionales de energía —leña— por otras fuentes no renovables (butano, derivados del petróleo), la presión sobre los terrenos forestales al objeto de aumentar la superficie agraria (en los países en vía de desarrollo), el conflicto entre la superficie forestal y la expansión urbanística, o el propio comercio global que facilita el tránsito de productos y especies biológicas. A este conjunto de cambios climáticos, sociales y económicos se le ha definido como Cambio Global.

En un territorio como el mediterráneo en el que la influencia del hombre sobre los bosques se ha dejado sentir de forma patente desde hace varios milenios, la separación entre efectos asociados al cambio del clima y efectos asociados a otros cambios es difícilmente observable. Alguno de los efectos del cambio global ya observados en los bosques del medio mediterráneo pueden sintetizarse en:

- Cambios en la distribución de especies forestales, con desplazamientos altitudinales y latitudinales, y fenómenos de sustitución local de las especies más vulnerables por otras mejor adaptadas. Puede citarse como ejemplos de sustitución altitudinal de *Fagus sylvatica* por *Quercus ilex* en las zonas bajas del macizo del Montseny (Peñuelas y Boada, 2003), y la de *Pinus sylvestris* por *Pinus pinaster* en las montañas del Sistema Ibérico (Spathelf *et al.* 2013), y como ejemplo de reemplazamiento el de *P. pinaster* por *Pinus pinea* y *Juniperus thurifera* en los páramos calizo de la Meseta Norte (Lindner y Calama, 2013) (Figura 2).
- Fracaso en la regeneración natural de algunas especies forestales, asociado a fenómenos de mortalidad estival, como es el caso del *P. pinaster* en la Meseta Norte (Gordo *et al.* 2012) o del *P. pinea* en los valles del Tiétar y del Alberche (Ramírez, 2017).



Figura 2. Regeneración viable de *P. pinea* y *J. thurifera* bajo dosel adulto de *P. pinaster* con claros síntomas de decaimiento.

- Cambios en la fenología de las especies, traducidos en el caso de las especies forestales, en alargamientos en el periodo vegetativo de hasta un mes en las especies frondosas, motivado por un adelantamiento de la brotación y un retraso en la caída de las hojas (Peñuelas *et al.* 2002).
- Fenómenos de decaimiento y mortalidad en diversas especies forestales (seca en *Quercus sp.*, pérdidas de vigor en plantaciones de *Pinus sp.* en el SE español, decaimiento de *Fagus sylvatica* en el Prepirineo, decaimiento en *P. pinea* en los Valles del Tiétar y del Alberche, (Figura 3) relacionados con periodos de sequía intensa, como fueron los años 1994-95, 2005 ó 2012 (Peñuelas *et al.* 2001, Jump *et al.* 2006, Sánchez-Salguero *et al.* 2012).
- Reducción en la productividad primaria neta de determinadas especies (*Pinus pinaster*, Bravo-Oviedo *et al.* 2010) y pérdidas de crecimiento secundario que derivan en fenómenos de mortalidad (Cailleret *et al.* 2017)
- Mayor incidencia de plagas forestales, asociada tanto a un incremento altitudinal de su área de influencia (como es el caso de la procesionaria del pino, *Thaumeatopoea pytiocampa* en Sierra Nevada, Hódar *et al.* 2003) como al alargamiento del periodo de actividad o la aparición de fenómenos de polivoltinismo en especies que hasta el momento sólo presentaban una generación anual (p.ej. *Ips sexdentatus*).



Figura 3. Decaimiento generalizado en pinar maduro de *P. pinea* en San Martín de Valdeiglesias (Madrid). La foto superior fue tomada en otoño de 2001 por el autor, y la inferior en otoño de 2016 por Miguel Ramírez.

- Cambio en la provisión de distintos servicios ecosistémicos, como por ejemplo pérdidas recientes en la producción de piña de *Pinus pinea* (Calama *et al.* 2016).

Los modelos de distinto tipo predicen que ante escenarios climáticos desfavorables (p.ej. el RCP 8.5) se producirá un agravamiento de los impactos antes mencionados, siendo previsible fenómenos patentes de desplazamiento, sustitución y extinción de especies (García-Valdés *et al.* 2015), pérdidas severas de crecimiento y productividad (Sánchez-Salguero *et al.* 2017), fallos generalizados en la regeneración natural de determinadas especies (Manso *et al.* 2014), reducción en la provisión de servicios ecosistémicos (Pardos *et al.* 2016) o una mayor severidad y extensión superficial de los ataques por plagas (Robinet *et al.* 2013).

2. La Adaptación de los bosques y de la gestión forestal al cambio climático

La adaptación, referida a los seres vivos, se define según la R.A.E. como el acto de acomodarse a las condiciones del entorno. Dentro del marco del cambio climático, el IPCC define la Adaptación como el “*ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados, o a sus efectos, que atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas*”.

La adaptación al cambio, junto con la mitigación, constituyen las dos estrategias para enfrentarnos al cambio climático (IPCC, 2014). En ese sentido, la mitigación incluye todo el conjunto de actuaciones orientadas a atenuar el cambio climático, en especial las encaminadas a reducir las fuentes emisoras y/o potenciar la capacidad de absorción de los sumideros de gases de efecto invernadero. Por su parte, la adaptación incluye todo el conjunto de medidas y actuaciones orientadas a minimizar los potenciales efectos negativos del cambio climático sobre los sistemas, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la capacidad de resistencia y resiliencia de los mismos frente a las condiciones cambiantes.

Ambas estrategias son complementarias en la actuación frente al cambio climático, de manera tal que en respuesta a los impactos y vulnerabilidades observados o esperados en un sistema como respuesta al cambio climático, las políticas de adaptación se orientarían a minimizar esos impactos, disminuyendo la exposición del sistema o aumentando la resistencia y resiliencia del mismo, mientras que las políticas de mitigación se centrarían en minimizar el efecto que el propio sistema tiene sobre el cambio climático (*Figura 4*). En el caso específico de los sistemas forestales, las políticas de adaptación incluyen las medidas orientadas a garantizar la persistencia y regeneración de los bosques y la sostenibilidad en la provisión de los servicios ecosistémicos bajo escenarios desfavorables de cambio climático. Por su parte, las políticas de mitigación se centrarían en incrementar la capacidad de absorción de CO₂ por parte de los bosques —aumentar la superficie forestal, promover actividades que incrementen la vida útil de los productos forestales— y potenciar la sustitución de combustible fósiles al objeto de reducir emisiones (Bernier y Schoene, 2008; Millar *et al.* 2007)

Una característica específica de la adaptación es que los sistemas —en especial los biológicos— poseen una capacidad inherente de adaptación autónoma. Esta capacidad deriva de los mecanismos y procesos evolutivos que permiten dotar a un sistema biológico de la plasticidad suficiente para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales. En este ámbito de la adaptación autónoma se definen conceptos como la resistencia de un sistema, que es la fuerza que ejerce un sistema en sentido opuesto al cambio impuesto por un impacto (McGillvray *et al.* 1995), o la resiliencia del sistema, capacidad del sistema para absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado (Holling, 1973).

La adaptación autónoma, inherente a los sistemas, definiría la evolución esperada del sistema en respuesta al impacto en condiciones de no intervención humana. En

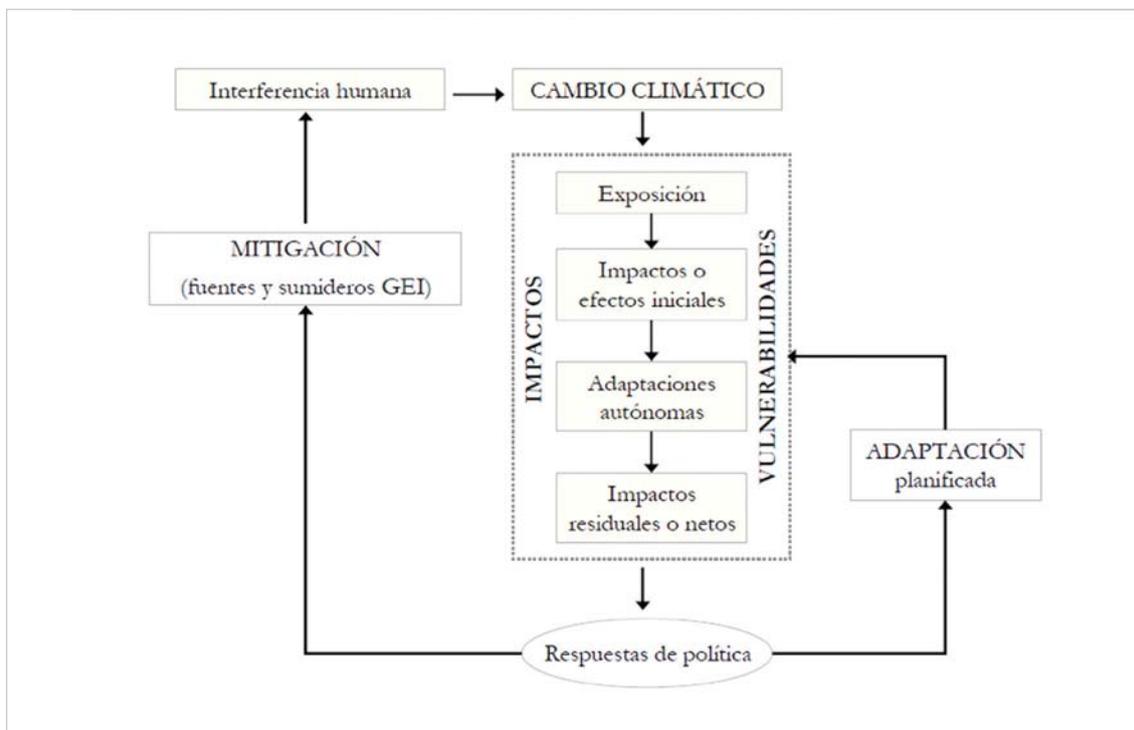


Figura 4. El papel de la Adaptación planificada y la Mitigación como estrategias frente al cambio climático. (Tomado de PNACC, OEECC 2006).

el caso de los sistemas biológicos, a lo largo de toda la historia de la Tierra, las especies y sistemas biológicos han respondido de forma autónoma a los cambios observados en el clima, en muchos casos de una magnitud superior a los observados en la actualidad. Respuestas como la migración de especies a refugios más favorables, el desarrollo de mecanismos de adaptación local exitosos, la plasticidad fenotípica, la variabilidad epigenética inter e intrapoblacional, o los mecanismos de compensación demográfica (optimización de la regeneración de determinadas especies ante circunstancias ambientales adversas frente a la extinción de otras menos adaptadas) han dado lugar a la sucesión observada en la composición de los distintos de los ecosistemas a lo largo del tiempo.

Los sistemas biológicos siguen poseyendo esa capacidad autónoma e inherente de adaptación. Sin embargo, en las condiciones de cambio actuales, la sola dependencia de los sistemas en su capacidad inherente de adaptarse al cambio puede no ser suficiente, debido a:

- La velocidad del cambio es superior a la de la adaptación: la alteración del clima se produce en un corto periodo de tiempo, inferior al requerido por las especies y sistemas para completar su adaptación.
- La intervención humana puede haber impedido la evolución natural de los sistemas, como es el caso de la fragmentación de las poblaciones, el establecimiento de obstáculos para la migración (ej. infraestructura viaria) o la propia extinción de especies.

- La responsabilidad antropogénica en el cambio: la sociedad ha expresado el principio de responsabilidad hacia las generaciones futuras (Brundtland *et al.*, 1987), por el cual existe un compromiso para garantizar el legado del planeta en unas condiciones mejores, o al menos iguales, que las actuales.

A las anteriores razones para una adaptación planificada se une una cuarta, que podríamos denominar como razón económica, y que se fundamenta en el hecho de que el estado resultante del sistema tras el proceso de adaptación autónoma puede no satisfacer los objetivos requeridos al citado sistema. Desde el punto de vista de la adaptación de los sistemas forestales al cambio climático, el estado resultante de la adaptación de un sistema forestal puede no garantizar la provisión de los bienes y servicios que la sociedad demanda de los sistemas forestales. En ese sentido, la adaptación planificada, como actividad programada y anticipadora, no debe tener como objetivo perpetuar el estado actual del sistema, sino llevarlo a aquel estado en el que el sistema esté lo mejor ajustado posible a las nuevas condiciones ambientales garantizando en la medida de lo posible la provisión de los bienes y servicios asociados (*Figura 5*).

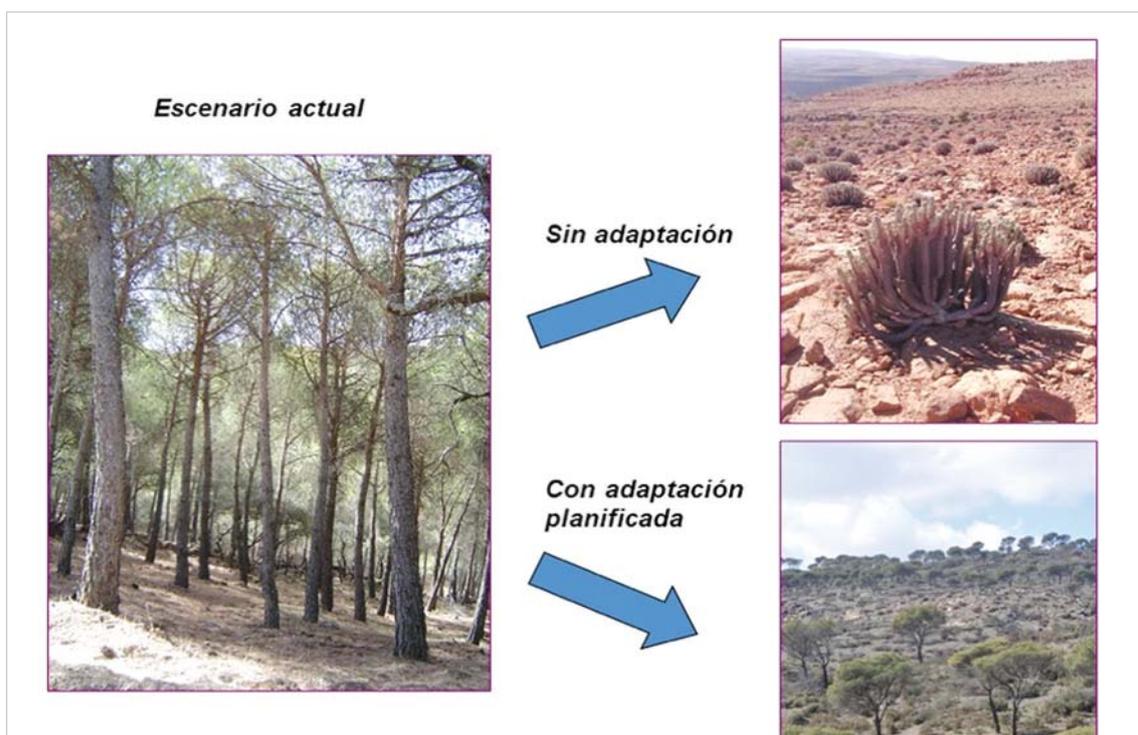


Figura 5. Adaptar no es perpetuar el sistema actual, sino conseguir el estado del sistema que mejor se ajuste a las nuevas condiciones proporcionando el mayor número de bienes y servicios.

En la práctica de la gestión forestal confiar en la capacidad autónoma de los sistemas forestales implicaría no realizar cambio alguno en las prácticas de gestión actualmente aplicadas, o en el peor de los casos, continuar sin intervenir (Sevilla, 2015). Sin embargo, y como consecuencia de la posible incapacidad o éxito de las medidas

de adaptación autónoma se hace necesario plantear la ejecución de medidas de adaptación asistida, en la que existe una intervención antrópica sobre el sistema. Esta adaptación, según el momento de su aplicación, puede ser reactiva o planificada (Blate *et al.* 2009). La adaptación reactiva implica una intervención sobre el sistema una vez que se ha producido el impacto, y como tal viene muy condicionada por la magnitud del mismo, y su principal finalidad es evitar la extensión, contagio o agravamiento del efecto del impacto. Por el contrario, la adaptación planificada implica definir a priori una serie de actuaciones teniendo en cuenta los potenciales efectos del cambio sobre nuestro sistema, o la incertidumbre asociada al mismo. Implica actuaciones anticipativas y diseñadas con unos objetivos específicos al objeto de minimizar el efecto de los impactos cuya ocurrencia resulte más probable o de mayor virulencia.

3. Adaptación planificada en la gestión de los sistemas forestales

La adaptación planificada en el sector forestal debe considerar la integración de la adaptación al cambio climático en la planificación de la gestión de los sistemas forestales y de los distintos sectores o agentes asociados (OECC, 2006). La adaptación planificada en el sector forestal debe abarcar por lo tanto a propietarios forestales, comunidades locales que perciben una parte de sus ingresos del aprovechamiento de los recursos forestales, gestores del territorio, industrias forestales, responsables de política forestal... y plantear medidas de intervención a las distintas escalas, desde el rodal o monte, hasta las políticas a nivel nacional o internacional.

En el presente trabajo vamos a centrarnos en la adaptación planificada de los sistemas forestales, centrándonos en la escalas del rodal, unidad de gestión y monte, abordándolo desde la perspectiva de las decisiones requeridas acerca de la gestión de esas unidades. En ese sentido, vamos a trabajar sobre las propuestas de modificación de las prácticas de gestión forestal orientadas a (Lindner *et al.* 2010):

- Favorecer la capacidad inherente de adaptación de especies, sistemas y procesos
- Reducir el riesgo de ocurrencia de aquellos procesos ambientales y sociales que aumentan la vulnerabilidad de los sistemas forestales
- Aumentar la resistencia y la resiliencia de los sistemas forestales
- Garantizar la provisión de servicios ecosistémicos

Un aspecto inicial a considerar es que estas propuestas de modificación de la gestión forestal deben plantearse desde la óptica de los principios de la Gestión Forestal Sostenible, entendida como *“La administración y uso de los bosques y tierras forestales de forma e intensidad tales que mantengan su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y su potencial para atender, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales relevantes a escala local, na-*

cional y global, y que no causen daño a otros ecosistemas” (2ª Conferencia Pan-Europea de Protección de Bosques, Helsinki, 1993).

Esta premisa condiciona el que la gestión forestal para la adaptación al cambio climático no debe considerarse de una manera independiente a la Gestión Forestal Sostenible, sino que debe partir de sus propios principios. Los objetivos clásicos de persistencia, perpetuación y mejora de los sistemas forestales, garantía de sostenibilidad ecológica y económica de la gestión, y multifuncionalidad y maximización de servicios y bienes quedan perfectamente avalados en el marco de una gestión de adaptación al cambio climático. El objetivo final debe ser conseguir gestionar los bosques adaptándolos a los nuevos escenarios.

4. Principios básicos de la Gestión Forestal para la Adaptación al Cambio Climático

La gestión para la adaptación de los bosques al cambio climático debe basarse en una serie de principios fundamentales (Brang et al. 2014; García-Güemes y Calama, 2015):

— *Gestión anticipadora basada en la modelización y monitorización de impactos*

Como ya se apuntó anteriormente, la adaptación planificada de los Sistemas Forestales debe ser anticipadora, y por lo tanto, la gestión entendida como herramienta para esta adaptación planificada también debe serlo. La planificación de la gestión debe considerar el riesgo y probabilidad de ocurrencia de los distintos impactos esperados, y ser capaces de identificar señales tempranas de ocurrencia de los mismos. Para ello es necesario disponer de modelos que predigan los impactos esperados en los sistemas ante los diferentes escenarios climáticos, y herramientas adecuadas y accesibles de seguimiento y monitorización tanto del clima como de los impactos sobre los bosques (Swanston y Janoviak, 2012).

A partir del conocimiento previo, la gestión forestal como herramienta de adaptación debe focalizarse en torno a la posibilidad de ocurrencia del impacto considerado como más probable, identificar áreas de mayor vulnerabilidad al impacto y debe plantear como un objetivo la aplicación de las medidas necesarias para la minimización del efecto negativo asociado. Por otra parte, la gestión anticipativa implica que ante un escenario de incertidumbre sobre la ocurrencia del impacto (momento, intensidad), las respuestas deben estar programadas y detalladas con anterioridad, y considerar todo el posible rango de perturbaciones asociadas (Millar *et al.* 2007). Por último, una gestión anticipativa en un escenario de incertidumbre debe fundamentarse en la disponibilidad de la mejor información posible sobre la ocurrencia de los impactos y sus efectos sobre los bosques, por lo que se considera fundamental la conexión entre la monitorización del estado de los ecosistemas forestales y la gestión de los mismos (Bernier y Schoeme, 2009).

De acuerdo a lo anterior, la gestión forestal para la adaptación al cambio climático debe tener en cuenta los modelos que predicen la probabilidad de ocurrencia de una perturbación o escenario climático y su impacto sobre los sistemas forestales. La inclusión en los planes de gestión y ordenación forestal de los mapas de riesgo y vulnerabilidad ante los impactos derivados, así como de los planes de contingencia que definan la respuesta al impacto constituyen herramientas fundamentales para una gestión anticipativa.

— *Gestión flexible basada
en múltiples estados objetivo*

La gestión forestal para la adaptación debe considerar que la velocidad del cambio —no sólo el climático, sino también el socioeconómico— puede implicar la ocurrencia del mismo en un horizonte temporal inferior al de la planificación. Una gestión forestal basada en el cumplimiento de un esquema rígido de gestión y orientada a un único estado objetivo final del sistema, que debe alcanzarse en un periodo determinado, puede ser muy costosa de implementar en un escenario de cambio continuo. A ello se puede unir el que una vez alcanzado el estado final los objetivos alcanzados no coincidan con los que en ese momento la sociedad demanda a los bosques.

Para ello, una gestión forestal para la adaptación al cambio climático no puede considerar un único camino posible de evolución del bosque y un único estado final del mismo, sino que debe plantear todos los posibles estados futuros del sistema compatibles con los escenarios potenciales y con los objetivos propuestos, y proponer un rango de esquemas o itinerarios compatibles con la consecución de esos estados (Puettmann *et al.* 2009). En ese sentido, deben flexibilizarse conceptos muy arraigados en la práctica de la gestión como son el del turno, especie principal, distribución objetivo, posibilidad anual... sustituyendo un único valor por un rango posible de alternativas. La evaluación continua y seguimiento del estado del bosque, y la apuesta por una planificación revisable y una gestión basada en la experiencia del gestor y no únicamente en el dato del inventario facilitarán este proceso de flexibilización. Por último, la implantación del uso de modelos y sistemas de apoyo a la planificación por parte de los gestores forestales permitirá simular múltiples caminos de evolución de los sistemas forestales bajo diferentes escenarios ambientales y esquemas de gestión.

— *Gestión orientada a emular
y aprovechar los procesos naturales*

La gestión forestal para la adaptación no puede ignorar los procesos de adaptación autónoma inherentes a los sistemas forestales, sino que debe favorecerlos y sacar provecho de los mismos. Se debe promover los estudios orientados a identificar los genotipos y procedencias de mayor tolerancia frente al escenario más probable o más dramático, de manera tal que ante la posible ocurrencia del impacto se

pueda disponer de material mejor adaptado (Pardos y Calama, 2017). Esta opción, que en la programación de repoblaciones forestales con especies autóctonas aún debe considerarse con cautela, puede tener gran validez en la planificación de cultivos forestales de alta productividad o en plantaciones para la obtención de biomasa (Sixto *et al.* 2015).

Una alternativa rápida puede ser la reorientación de los bancos clonales y ensayos de procedencia instalados a partir de la década de los 80 en el marco de la mejora genética de las especies forestales, y con una clara orientación hacia la mejora de la producción y calidad maderera. Aprovechar toda la información generada en estos ensayos, y complementarla con nuevos experimentos (por ejemplo, con la extracción y análisis de cores de crecimiento y medición de la eficiencia en el uso del agua mediante isótopos estables) permitirá identificar genotipos y procedencias de mayor resistencia a la sequía, o con mayor capacidad de recuperación frente a eventos climáticos extremos, o incluso determinar especies y procedencias con mayor plasticidad fenotípica y mayor capacidad de adaptación autónoma (Matesanz & Valladares, 2013).

Otra opción a considerar es favorecer y acelerar la migración de determinadas especies o procedencias (migración asistida, Fernández-Manjarrés y Benito-Garzón, 2015) hacia aquellos nichos donde ante escenarios de cambio climático serán más competitivas, y que bien por su lejanía actual, bien por la existencia de obstáculos o fragmentaciones, no está previsto que ocupen. Estas prácticas implican el traslado de semillas y/o propágulos juveniles o adultos tanto dentro de la distribución geográfica de la especie, como en el margen de la misma o incluso en zonas nunca ocupadas. En este último caso se buscan hábitats que compensen los efectos del cambio climático esperados en sus localizaciones de origen.

La gestión forestal para la adaptación debe asimismo aprovechar la dinámica natural de regeneración y sustitución de especies. La regeneración natural de los sistemas forestales constituye uno de los cuellos de botella para la persistencia actual de los mismos, proceso que se verá agravado ante escenarios de cambio climático (Calama *et al.* 2017). Ante estos escenarios de falta de regeneración de la especie actualmente considerada como principal, la gestión para la adaptación debe aprovechar y promover el crecimiento de grupos o golpes de regenerado avanzado —de la misma o de distintas especies— preestablecido en huecos. En estos casos, un cambio de la forma principal de masa o de la composición de la misma puede garantizar la persistencia del sistema forestal (*Figura 6*).

— *Gestión orientada
a aumentar la diversidad*

Un sistema más diverso es equivalente a un sistema compatible con un mayor rango de condiciones ecológicas. Esto se fundamenta en el distinto grado de vulnerabilidad que frente a una perturbación asociada a un impacto negativo —una plaga o una sequía extrema— tienen los individuos de distintas especies, o dentro de una misma especie, individuos con distinto genotipo, tamaño o edades (Knoke *et al.*



Figura 6. Liberación de regenerado avanzado preestablecido en un hueco abierto por decaimiento de estrato adulto – *P. pinaster* – afectado por *Armillaria mellea*. La Pedriza. P.N. Sierra de Guadarrama.

2008). En ese sentido, una plantación monoclonal y coetánea a lo largo de una superficie extensa puede ser más vulnerable frente al ataque de una plaga que un bosque mixto con alta heterogeneidad estructural a distintas escalas espaciales. Los bosques mixtos son además susceptibles de recuperarse más rápidamente tras la ocurrencia de la perturbación que los bosques monoespecíficos (Jactel *et al.* 2009). Asimismo, una alta diversidad intra e interespecífica permite una selección natural de individuos mejor adaptados a las nuevas condiciones.

Una diversidad estructural en cuanto a edades y tamaños de los individuos permite la creación de un nicho más favorable en términos ambientales para el regenerado o especies del sotobosque por parte del estrato adulto (Pardos *et al.* 2007, Calama *et al.* 2015), y garantiza la sustitución en caso de fenómenos de decaimiento en arbolado adulto comunes en los medios mediterráneos como respuesta a eventos de sequía. Por último, un sistema diverso a escala de paisaje, formado por parches heterogéneos, puede garantizar el mismo efecto de amplia respuesta frente a un fenómeno actuando a esa escala (p.ej. incendio forestal). En este caso, los parches más resistentes y resilientes que sobrevivan a la perturbación constituirán las islas para la dispersión de aquellos elementos mejor adaptados.

De todo lo anterior se deduce que una gestión forestal para la adaptación debe buscar sistemas forestales más complejos, promoviendo el cambio gradual de estructuras / especies / procedencias hacia aquellas mejor adaptadas al rango futuro de condiciones. La diversificación de bosques monoespecíficos puede realizarse mediante plantaciones de enriquecimiento bajo cubierta (*Figura 7*), Brang *et al.* 2014) o la apertura de huecos en la masa que favorezcan el desarrollo de especies naturalmente instaladas. Asimismo debe promoverse la realización de repoblaciones multiespecíficas, prestando especial atención a la ubicación de los individuos de cada especie en su nicho actual y potencial óptimo (Lindner *et al.* 2008).

Desde el punto de vista estructural se debe favorecer la presencia de individuos de distintas edades —tamaños dentro del mismo rodal, avanzando hacia cierto grado de irregularidad en las masas (*Figura 8*). Para ello se recomienda la aplicación de cortas de selección orientadas a promover los individuos de mayor resistencia— porvenir independientemente de su edad, el mantenimiento de pies extramaduros y la promoción de bosquetes de regenerado avanzado viables.

Por último, y a escala de paisaje, una gestión para la adaptación debe considerar establecer parches o unidades con distinta intensidad de intervención, en las que se planteen esquemas de gestión o itinerarios selvícolas diferenciados (ver apartado Gestión flexible basada en múltiples estados objetivo), o incluso distintos estados objetivos finales o diferente composición.

— *Gestión orientada a promover la resistencia individual
frente al impacto más probable*

La gestión para la adaptación al cambio climático plantea la realización de aquellas prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad y aumentar la resistencia de los individuos frente al factor de estrés más limitante. En el caso de los medios



Figura 7. Plantación de enriquecimiento con *Sorbus aucuparia* bajo fustal repoblado de *P. sylvestris*. P.N. Sierra de Guadarrama



Figura 8. Selvicultura orientada a la irregularización de masas de *P. pinea*. Hoyo de Pinares (Ávila).

mediterráneos este factor es el estrés hídrico estival unido a la ocurrencia de altas temperaturas. Las intervenciones deben orientarse por lo tanto a la optimización del recurso hídrico, lo que se consigue mediante la aplicación desde edades tempranas de cortas orientadas a regular de manera gradual la competencia inter e intra específica mediante clareos y resalveos (Vericat *et al.* 2012, Lindner y Calama, 2013; (Figura 9).

Otro aspecto a considerar aparte de la gestión de la competencia es la gestión de la facilitación. Numerosos estudios avalan que en las masas multiespecíficas existe una complementariedad de nichos que, en condiciones de estrés ambiental, puede ser de mayor intensidad que la propia competencia entre individuos (de Dios-García *et al.* 2015). Esta complementariedad de nichos se asocian a un uso diferenciado en el espacio y en el tiempo de los recursos (Forrester *et al.* 2010), patrones fisiológicos diferenciados (Mayoral *et al.* 2015), fenómenos de bombeo desde capas profundas del suelo, fenómenos de protección frente a herbívoros... Estos procesos de facilitación no sólo afectan a las especies arbóreas, sino que entran en juego especies del matorral o herbáceas, que deben ser tenidas en cuenta en la gestión (Gómez-Aparicio *et al.* 2004). Una gestión para la adaptación debe favorecer la diversificación y el desarrollo de las especies complementarias y del sotobosque mediante distintos tipos de corta.

En sus estadios iniciales las plantas presentan una mayor vulnerabilidad frente a la sequía, las temperaturas extremas y la irradiación extrema. Recientemente se han empezado a observar fallos generalizados en el establecimiento de la regeneración tras la aplicación de cortas, asociados a elevadas tasas de mortalidad estival, incluso en especies y estaciones donde antes se conseguía sin dificultad (Calama



Figura 9. Clareos precoces (edad arbolado 10 años) sobre *P. pinea*, reduciendo la densidad a 250 pies/ha. Olmedo (Valladolid).

et al. 2017). Ante esta situación, una gestión para la adaptación al cambio climático debe plantear la aplicación de cortas de liberación del regenerado más graduales, que garanticen protección inicial mediante sombreado y unas condiciones de menor evapotranspiración a los golpes de regenerado establecidos bajo la cubierta forestal (Calama *et al.* 2015).

En el caso de repoblaciones en terrenos abiertos, en los que no existe cobertura de arbolado adulto, se debe favorecer la creación de microhábitats locales favorables a la instalación de la planta, lo que se consigue mediante la construcción de microcuenca individuales (*Figura 10*), aplicación de elementos de retención de la humedad (mulch) y protectores individuales (Vilagrosa *et al.* 2008).

— *Gestión integral y localizada*

A primera vista ambos conceptos pueden parecer contradictorios en el marco de la gestión forestal para la adaptación al cambio climático. Una gestión integral de un sistema forestal debe tener en cuenta la importancia ecológica de todos los elementos del sistema, sus interacciones y el papel que pueden jugar en un escenario de cambio climático. A la gestión forestal clásica se le ha acusado —injustamente en mu-



Figura 10. El uso de la retroaraña permite la elaboración de microcuencas individuales para las repoblaciones en terrenos con orografía complicada (Valladolid).

chas ocasiones— de considerar los bosques exclusivamente como un conjunto de árboles, sobre los que se buscaba una normalización, regularización y homogeneización. Estos conceptos derivaban de la traslación del concepto de los ensayos agrícolas a los sistemas forestales. Sin embargo, y ante escenarios cambiantes, la gestión forestal debe focalizarse no sólo en los árboles, sino sobre el ecosistema en su conjunto. La gestión forestal para la adaptación tiene que considerar el papel que las especies acompañantes arbóreas y de matorral juegan como facilitadoras frente a situaciones de estrés ambiental; la consideración de la fauna forestal como dispersora de semillas, facilitadora de la polinización, agente de control por herbivoría y la fundamental función simbiótica de la microfauna edáfica o de los hongos micorrícicos (ver p. ej. Jiménez *et al.* 2006).

En paralelo a esta visión integral, la gestión debe ser localizada, lo que implica que no existen recetas globales válidas. La adaptación debe responder a la ocurrencia local de impactos, a la vulnerabilidad de cada población frente a los mismos, y a

las posibilidades locales de adaptación autónoma. Esto implica que las medidas de adaptación deben diseñarse a una escala local. Una adecuada clasificación tipológica de los sistemas forestales, basada no exclusivamente en las existencias, sino en características ecológicas, estado sanitario actual, vulnerabilidades y potencial respuesta frente a los impactos, constituye la base necesaria para el planteamiento de una gestión por rodales (González *et al.* 2011). A su vez, la toma de decisión debe estar basada en el *conocimiento experto*, lo que implica dar un mayor peso a la opinión y decisión del gestor frente a la importancia actual del muestreo estadístico de las existencias, y la planificación basada en la posibilidad maderable. Los proyectos de ordenación deben simplificarse, al objeto de poder ser ejecutados en la práctica y no convertirse en meras declaraciones de intenciones.

5. La Gestión Forestal para la Adaptación, ¿una realidad o una ficción científica?

A la vista de lo expuesto en los apartados anteriores cabe pensar que existe un consenso acerca de que el cambio climático constituye una de las principales amenazas para la persistencia de los bosques y la sostenibilidad del sector forestal, así como sobre la necesidad de implementar medidas de adaptación de los bosques basadas en el conocimiento científico. Sin embargo, la perspectiva del problema varía según se aborde desde una óptica más académica, procedente de las universidades y centros de investigación, o una aproximación procedente desde los organismos competentes en materias de gestión forestal. Desde el mundo académico se considera que el conocimiento científico generado permitiría implementar de manera eficiente unas medidas de adaptación de los bosques al cambio climático, pero que no se termina de llevar a cabo porque esta adaptación no figura como finalidad u objetivo principal de la gestión diaria de los sistemas forestales. Por otra parte, desde el ámbito de la gestión forestal se reconocen las dificultades a la hora de considerar la adaptación de los bosques como un objetivo principal, al verse en muchos casos superados por objetivos a más corto plazo, como los de restauración y regeneración, prevención y extinción de incendios, control de especies exóticas o aprovechamientos forestales. Sin embargo, desde la gestión forestal también se apunta a la dificultad para la aplicación práctica de las medidas de gestión para la adaptación propuestas desde los centros de investigación. Esta dificultad viene motivada en parte porque los objetivos finales demandados a la investigación —publicación en revistas de alto impacto y generación de fondos en proyectos competitivos— condicionan el que los resultados obtenidos no cubran las demandas reales del sector forestal.

La situación anterior genera una paradoja en la que mientras desde la investigación forestal se considera de extrema importancia la aplicación inmediata de una gestión de adaptación de los bosques al cambio climático, desde la gestión forestal no se plantea como una necesidad tan acuciante. Una muestra del preponderante papel activo que juega la investigación en la propuesta de medidas de adaptación se encuentra en la afiliación de los autores del informe fundamental *“Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en*

España” (Herrero y Zavala eds., 2015), citado en numerosas ocasiones en el presente trabajo. Mientras que el 81% de los autores (114 sobre 140) figuran como adscritos a Universidades o Centros de Investigación, únicamente 11 de los 140 autores están adscritos a Organismos con competencias en Gestión Forestal, estando los 15 autores restantes pertenecen a otros organismos, como ONGs, AEMET o la Oficina Española de Cambio Climático.

Este sesgo hacia la perspectiva “académica” del problema puede hacer que desde determinados sectores la Gestión forestal para la Adaptación al Cambio Climático llegue a ser vista como una *ficción científica*¹, entendida como aquel proceso en el que se desarrolla todo un conjunto de hipótesis, teorías y propuestas de solución construidas escrupulosamente siguiendo los dictados del método científico, pero que están orientadas a resolver un problema teórico que únicamente existe en la mente de los científicos. El conseguir que la adaptación de los bosques al cambio climático no sea considerada una ficción científica, y como tal ignorada desde los organismos encargados de definir las líneas prioritarias de la política forestal, es una tarea que concierne a investigadores y gestores forestales. En los párrafos siguientes se van a presentar las causas principales para la no consideración de la Gestión Forestal para la Adaptación, acompañadas de una serie de propuestas para la puesta en valor de estas prácticas.

— *El Cambio Climático no se considera un riesgo inminente para nuestros bosques*

El largo ciclo vital de las especies forestales motiva que, salvo en el caso de los fenómenos de mortalidad masiva asociados a fenómenos de sequía extrema o prolongada, sea muy difícil observar los efectos del cambio climático sobre los bosques de una forma inmediata. Incluso las predicciones de los modelos ante los escenarios más pesimistas plantean procesos de sustitución de especies observables a partir del último tercio del siglo XXI (ver p.ej. García-Valdés *et al.* 2013), marco temporal que en la mayor parte de las ocasiones nos resulta muy alejado si lo comparamos con nuestras preocupaciones actuales.

Mientras que la mayor parte de los trabajos científicos presentan los impactos esperados del cambio climático sobre los bosques, obtenidos a partir de las predicciones de distintos modelos climáticos y/o de dinámica forestal, los trabajos centrados en presentar impactos reales son menos numerosos. Esto se debe en parte a la dificultad existente para disociar el efecto del cambio en el clima experimentado en las últimas décadas de otros cambios de tipo social o económico observados —despoblación rural, abandono de prácticas agrarias tradicionales, sustitución del uso de combustibles de tipo leñoso—. En muchas ocasiones, el estudio de los impactos observados tiene un carácter local o específico, mientras que los estudios basados en pre-

¹ Uno de los casos más conocidos de *ficción científica* son las múltiples teorías desarrolladas acerca de la imposibilidad teórica de algunos de los avances presentados en las películas de la saga *Star Wars* (como muestra, <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/could-the-death-star-destroy-a-planet-17548632/1>)

dicciones a largo resultantes de los modelos tienen un carácter más amplio, en ocasiones alcanzando la escala planetaria (p.ej. Nemani *et al.* 2003). Como consecuencia de lo anterior, los impactos observados en la actualidad tienden a verse como un mosaico “inconexo” de hallazgos locales, de escasa relevancia, y se tiende a considerar que, de producirse los impactos predichos por los modelos, aún quedan décadas para que llegue “lo peor”, y por tanto, aún hay tiempo para adoptar las medidas de adaptación.

Esta situación debiera revertirse mediante la creación de observatorios regionales o locales de los impactos del cambio climático sobre los sistemas forestales, a semejanza de los que ya existen en determinados espacios naturales (p.ej. Sierra Nevada, http://wiki.obsnev.es/index.php/P%C3%A1gina_principal). La implementación de estos observatorios podría conseguirse mediante una redefinición y homogeneización de las actuales redes de monitorización de nuestros bosques. En la actualidad las distintas herramientas de monitorización de los bosques —Inventario Forestal Nacional, inventarios para la ordenación forestal a escala de monte, redes de seguimientos de daños, redes de parcelas permanentes de investigación— no están diseñadas al objeto de permitir una detección precoz y eficiente de los impactos sobre los bosques. Se haría necesario establecer protocolos comunes de toma de datos sobre impactos observados sobre las parcelas adscritas a estas redes, a la vez que debiera facilitarse el acceso y puesta en común de los datos mediante el establecimiento de repositorios de información que generen grandes bases de datos. Se debe ser capaz de poder agregar a escala regional información habitualmente medida a una escala local —por ejemplo, las estadísticas anuales de cortas de policía sobre pies secos— de manera tal que un dato local pase a ser parte de una red que permita tener una visión global del problema. La implicación de agentes rurales e incluso población no especializada en estas campañas, mediante acciones participativas de seguimiento (ver por ejemplo red DeBosCat para el seguimiento de daños de bosques en Cataluña, <http://blog.creaf.cat/es/noticias/catalunya-estrena-una-red-de-seguimiento-pionera-en-europa-para-conocer-el-estado-de-sus-bosques/>), permitiría tanto concienciar acerca del problema como ampliar la muestra. El análisis de toda esta información mediante técnicas de big data permitirán tener una visión global del problema a tiempo real, y nos permitiría tener conciencia de la verdadera magnitud del problema.

— *La Adaptación supone un coste imposible de asumir por la Gestión Forestal*

La cuestión acerca de quién debe pagar los costes de la Gestión Forestal para la Adaptación es otro de los factores que limitan la implementación real de estas prácticas. Ante esta pregunta cabe responder con otra pregunta, que no es sino que por qué ha de ser mayor el coste de la adaptación que el coste de la gestión forestal actual. La Gestión Forestal para la Adaptación no implica la propuesta o ejecución de tratamientos distintos de los aplicados actualmente, sino una reformulación de los objetivos buscados en la aplicación de los mismos. Una evaluación y comparación objetiva de costes requiere además incluir en la formulación el posible coste derivado de

la no aplicación de las medidas de adaptación (pérdidas de productividad, fenómenos de mortalidad masiva), o el coste asociado a la aplicación de medidas reactivas (extracción de ejemplares muertos por decaimiento) una vez ocurrido el impacto, lo que puede alterar notablemente el signo del balance. En otras ocasiones la no consideración de las medidas de Gestión Forestal para la adaptación en los proyectos de ordenación y planes de gestión implica que en un momento de disponibilidad presupuestaria se plantee la ejecución de una medida no programada con esa finalidad.

Otro planteamiento es la necesidad de asumir el papel —y cuantificarlo— que la gestión forestal puede desempeñar en la Adaptación al Cambio Climático en otros sectores. La gestión forestal juega un papel determinante para garantizar la provisión de determinados servicios ecosistémicos necesarios para la sociedad, tanto materias primas —madera, leñas, corchos, frutos, setas— como servicios múltiples (Bernier y Schoene, 2009). Mitigar el efecto que el cambio climático pueda tener en un sector como el de las reservas hídricas puede conseguirse mediante la aplicación de una gestión forestal orientada a regular las pérdidas por escorrentía y evapotranspiración a escala de cuenca (Ameztegui *et al.* 2017). Una sinergia similar podríamos identificar entre la adaptación del sector urbanístico mediante una apuesta por la construcción en madera y una gestión forestal orientada a mejorar la calidad de la madera destinada a tal uso, o la adaptación del sector energético mediante un incremento de la energía derivada de la biomasa forestal y el consiguiente requerimiento a la gestión para proveer de esos productos. Los ejemplos anteriores nos indican que la Gestión Forestal para la Adaptación puede suponer no sólo un coste extra, sino una oportunidad para la puesta en valor de los sistemas forestales en el marco de la *economía verde*.

— *Las escalas de trabajo en investigación y gestión no coinciden*

Como ya se indicó anteriormente entre las críticas que se realiza a las medidas de gestión forestal para la adaptación propuestas desde la investigación forestal es que o bien se refieren a estudios detallados a escala local, muy atomizados y heterogéneos en su planteamiento, o bien plantean estudios a escala global basados en las predicciones de los modelos. En ambos casos las escalas de trabajo parecen alejarse de la escala de trabajo del gestor forestal, que es el monte o la comarca. La opinión del gestor forestal termina siendo en muchas ocasiones “*este resultado será muy interesante pero difícilmente puedo aplicarlo a mi monte*”.

Por otra parte, desde la investigación se apunta a que la gestión demanda respuestas inmediatas a problemas locales que no están planteadas en términos científicos, que puede tener escasa relevancia —y por tanto visibilidad— desde el punto de vista global, y cuya resolución mediante la aplicación del método científico requerirá de un plazo de tiempo que supera con creces las expectativas del gestor. En este caso, la opinión de los investigadores termina siendo “*podrías haber planteado este problema hace mucho tiempo*”.

El problema radica en considerar que la investigación debe proveer de recetas a

la gestión, cuando no es posible plantear una solución global para múltiples problemas locales. La solución pasa por asumir que la investigación debe proveer de recursos y habilidades a los técnicos encargados de la gestión. Los resultados de los experimentos no tienen por qué ser trasladados directamente a la gestión práctica, sino servir como guía u orientación para la misma. Los investigadores deben realizar un esfuerzo por homogeneizar, sintetizar y transferir sus resultados de manera inteligible, y los gestores deben utilizar esos resultados como base o herramienta de apoyo para la toma de decisión. Este proceso implica que la gestión se base en el conocimiento experto de los propios técnicos, restando peso a la decisión basada en el muestreo estadístico y considerando las decisiones basadas en la evidencia científica. Por su parte, la investigación debe conocer y responder a las necesidades prácticas de la Gestión, y no estar condicionada por el impacto de los resultados.

En este ámbito destaca la propuesta de la *Gestión Adaptativa* de los bosques (Innes *et al.* 2009), entendida como el proceso sistemático para la mejora continua de las prácticas y políticas de gestión mediante el aprendizaje a partir de los resultados de las actividades selvícolas. La *Gestión Adaptativa* se fundamenta en convertir el monte en un experimento global, donde se analizan distintas propuestas de gestión en términos propios del método científico. Se plantean y ejecutan distintas alternativas, de manera simultánea, realizándose un seguimiento, evaluación y contraste del grado de cumplimiento de los objetivos. La Gestión Adaptativa implica cooperación entre investigación y gestión: desde la gestión se plantean los problemas, se proponen los objetivos, la investigación apoya en la realización del diseño, y finalmente coordina las tareas de seguimiento y la evaluación. El establecimiento y seguimiento dentro de un mismo monte de rodales con distintas intensidades de gestión (*Figura 11*), o el diseño conjunto de experimentos locales y ensayos a escala de monte de distintos tipos



Figura 11. Planteamiento de distintas intensidades de intervención en el MUP 110 “El Carrascal”. TM. Quintanilla de Onésimo (Valladolid). Figura propia a partir de información del S.T. de Medio Ambiente de Valladolid.

de clareo (ver Gordo *et al.* 2017) constituyen ejemplos de gestión adaptativa basada en la colaboración entre el INIA y el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid.

— *Gestionar no es adaptar, investigar tampoco*

El mero hecho de gestionar un bosque de acuerdo a los principios de la gestión forestal sostenible no implica realizar gestión forestal para la adaptación, incluso aunque se planteen propuestas que sean acordes con los principios expuestos anteriormente. Para que un plan de gestión forestal se considere que contempla la adaptación de los bosques al cambio climático deben verificarse una serie de aspectos:

- o Se tiene en cuenta adaptación al cambio climático en la definición de los objetivos del plan, y la relación de los objetivos con la adaptación es clara.
- o Se describe clima actual, cambios recientes observados en el clima y escenarios climáticos previsibles a escala local y regional.
- o Se valora la vulnerabilidad al cambio climático de los distintos componentes del sistema, se describen impactos reales observados y se definen los impactos esperados más probables.
- o Se prioriza la planificación teniendo en cuenta los factores de vulnerabilidad e impactos observados / esperados antes descritos.
- o Se proponen medidas proactivas cuyo objetivo específico sea la adaptación frente a los impactos observados / esperados, y estén basadas en la evidencia científica.
- o Se plantean indicadores de evaluación y seguimiento tanto del impacto como de la eficacia de las medidas de adaptación propuestas.

De manera análoga, el mero hecho de añadir una coletilla del tipo “*para la adaptación*” en el título de los proyectos científicos no implica que realmente se esté realizando investigación en adaptación. Un proyecto de investigación en gestión para la adaptación debe tener en consideración los puntos antes descritos, centrando hipótesis, objetivos, planteamiento, desarrollo y resultados en la identificación, aplicación y evaluación de distintas medidas proactivas de adaptación a aplicar en los bosques. Una propuesta práctica interesante es la realización de chequeos o cuestionarios de comprobación de criterios a planes de gestión y proyectos de investigación, en la línea propuesta por Europarc España para control de planes de gestión en Áreas Protegidas (consultar en <http://www.redeuroparc.org/proyectos/adaptacion>).

— *Mitigar no es adaptar*

Mitigación del y Adaptación al Cambio Climático son conceptos que tienden a confundirse. La mitigación se define como el conjunto de intervenciones humanas orientadas a reducir las fuentes emisoras y/o potenciar la capacidad de absorción de los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC, 2014). Los bosques constituyen

uno de los principales sumideros naturales de carbono, y prácticamente los únicos sobre los que se puede intervenir en la actualidad. Desde el punto de vista del sector forestal, la gestión para la mitigación se centra en modificar las prácticas al objeto de aumentar la superficie forestal, reducir la deforestación y degradación de los bosques, aumentar la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques, incrementar la vida útil de los productos forestales que actúan como reservorios de carbono y potenciar la sustitución de combustibles fósiles por biomasa de origen forestal (Millar *et al.*, 2007).

La oportunidad que para el sector forestal supone el papel que pueden jugar los bosques en la mitigación del cambio climático se ha traducido en un mayor interés por las políticas de mitigación, relegando a la adaptación a un segundo plano. En otras ocasiones, se han camuflado bajo el epígrafe de prácticas para la adaptación propuestas básicamente relacionadas con la mitigación. Como ejemplo se puede consultar las propuestas iniciales de trabajo en adaptación para el sector bosques del PNACC (OECC, 2006), donde se planteaban como medidas de adaptación la “*Evaluación precisa de la biomasa subterránea y aérea de las especies y sistemas forestales españoles*”, el “*Desarrollo y aplicación de los modelos de crecimiento forestal bajo distintos escenarios de cambio climático*” y la “*Evaluación de los balances de carbono para distintos tipos de ecosistemas forestales españoles*”, propuestas asociadas a estrategias de mitigación. Por fortuna, en los programas de trabajo actualmente vigentes (OECC, 2014) se definen de manera clara e inequívoca propuestas reales de adaptación separadas de otras medidas de mitigación.

En ese sentido, mientras se le está demandando a los bosques aumentar su capacidad de fijación de carbono, y hacerlo en compartimentos de mayor vida útil, se está olvidando una premisa básica: *es necesario adaptar nuestros bosques a las nuevas condiciones ambientales si queremos conseguir los objetivos de mitigación*. Bosques no gestionados con un objetivo de adaptación pueden entrar en fase de decaimiento, convirtiéndose en emisores netos (Gracia *et al.* 2002), y pueden ver reducida su productividad y capacidad de crecimiento individual (Sánchez-Salguero *et al.* 2017), devaluando su capacidad como sumideros de carbono de larga vida útil.

El principal problema se deriva del hecho de que una gestión orientada a optimizar la mitigación no tiene por qué ser óptima —ni siquiera viable— en términos de adaptación del sistema forestal. Algunas prácticas sí que pueden ser compatibles a ambas aproximaciones:

- Numerosos estudios avalan la mayor productividad y secuestro de carbono por parte de las masas mixtas (Pretzsch y Schutz, 2009), que tal y como se expuso anteriormente, son más resilientes frente al cambio climático.
- La aplicación de claras permite obtener productos de mayor vida útil, sin merma en la producción total de biomasa a lo largo del ciclo (Ruiz-Peinado *et al.* 2013), a la vez que permite mejorar la resistencia de los individuos frente a la sequía (*Figura 12*).
- El aumento de la superficie forestal —y del potencial de absorción de C— me-



Figura 12. Aplicación de claras y astillado de árbol completo para obtención de biomasa con uso energético, un ejemplo de compatibilidad entre gestión para la adaptación y la mitigación. Quintos de Mora (Toledo).

diante plantación requiere del uso de las especies y procedencias de mayor viabilidad y resistencia, principio totalmente compatible con el de la migración asistida.

Sin embargo, es posible identificar incompatibilidades entre prácticas de gestión para la mitigación y para la adaptación:

- La maximización de los stocks de carbono en pie que plantean la gestión para la mitigación (Bravo et al. 2008) choca con las propuestas de maximizar la resistencia de los individuos frente a condiciones de estrés hídrico mediante la aplicación de claras.
- El establecimiento de plantaciones monoclonales con cortas rotaciones y alta productividad en biomasa (Sixto et al. 2015) puede entrar en conflicto con la demanda de una mayor diversidad específica y estructural requerida para la adaptación.
- Por último, la maximización de la biomasa en pie puede entrar en conflicto con la provisión de otros servicios ecosistémicos – frutos, ganado, disponibilidad hídrica - considerados en el marco de la aplicación de la gestión forestal en la adaptación de otros sectores estratégicos.

La existencia de posibles incompatibilidades entre la gestión para la adaptación y para la mitigación no deben suponer un freno para la aplicación de ambas aproximaciones, pero sí que deben ser consideradas a la hora de plantear políticas forestales bajo escenarios de cambio ambiental. Una vez más, la inclusión en los planes de

gestión de estas propuestas, y el planteamiento de matrices de incompatibilidad entre las mismas servirían de apoyo para el diseño de una gestión forestal adecuada al cambio climático que ya estamos sufriendo.

6. Conclusiones

Los bosques, en especial los localizados en el Medio Mediterráneo, son ecosistemas de alta vulnerabilidad frente a los efectos perjudiciales asociados a los escenarios climáticos previstos para las próximas décadas. Garantizar la persistencia de los bosques y la provisión de los servicios ecosistémicos que la sociedad demanda a los mismos —incluido el propio papel como sumideros de carbono— requiere de la aplicación inmediata de políticas de adaptación planificada y proactiva de los bosques. En la actualidad, la base científica para el planteamiento de medidas de adaptación planificada de los bosques se encuentra ampliamente desarrollada, siendo necesaria la transferencia real de este conocimiento a la gestión práctica de los bosques. Para ello, debe potenciarse la gestión forestal con base científica, en la que se implique de manera directa a los agentes encargados de la investigación forestal, a la vez que deben establecerse medios para la transferencia inteligible del conocimiento científico generado a los planes técnicos de gestión de nuestros bosques. La incorporación de objetivos específicos de transferencia en los proyectos (<https://sites.google.com/site/regeneracionnatural/proyecto-rta2013-00011-c02-00/difusion-y-transferencia>) debe priorizarse. Únicamente la estrecha colaboración entre los estamentos académicos y los de la gestión, y la comprensión mutua de las necesidades y demandas permitirán definir unas prácticas de gestión para la adaptación al cambio climático que puedan ser llevadas a la práctica, y optimizadas a nivel de política forestal.

7. Agradecimientos

Aunque las ideas recogidas en este trabajo son responsabilidad única del autor, son reflejo de muchos años de intercambio de opiniones, visitas de campo, trabajo y aprendizaje junto a muchos compañeros de profesión. Entre todos ellos no puedo dejar de agradecer en particular a Marta Pardos, Gregorio Montero, Javier Gordo, Guillermo Madrigal, Miren del Río, Carlos García Güemes, Rubén Manso, Mar Conde, Sven Mutke, Javier Vázquez-Piqué y Marcus Lindner por ser copartícipes e inspiradores de las ideas expuestas. Los ejemplos y actividades presentadas se enmarcan dentro de los proyectos RTA2013-00011-C2.1 “Gestión adaptativa multifuncional y vulnerabilidad de las masas de *Pinus pinea* ante un escenario de cambio global”, convenio CC16-095 ITACYL-Diputación de Valladolid-INIA sobre “Actividades de investigación en *Pinus pinea*”, y AGL2014-51964-C2-2 “Complejidad y sostenibilidad en bosques mixtos: dinámica selvicultura y herramientas de gestión adaptativa”.

8. Bibliografía

- Ameztegui, A., Cabon, A., De Cáceres, M., Coll, L. 2017 *Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: A modelling approach*. *Ecological Modelling*. 356: 141-150.
- Bernier, P.; Schoene, D., 2009. Adapting forests and their management to climate change: an overview. *Unsaylva* 60 (231/232): 5-11
- Blate, G.M.; Joyce, L.A.; Littell, J.S.; McNulty, S.G.; Millar, C.I.; Moser, S.C.; Neilson, R.P.; O'Halloran, K.; Peterson, D.L., Geoffrey M., 2009. Adapting to climate change in United States National forests. *Unsaylva* 60 (231/232): 57-62
- Brang, P.; Spathelf, P.; Larsen, J.B.; Bauhus, J.; Bonccina, A.; Chauvin, C.; Drössler, L.; García-Güemes, C.; Heiri, C.; Kerr, G.; Lexer, M.J.; Mason, B.; Mohren, F.; Mühlethaler, U.; Nocentini, S.; Svoboda, M. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*: 87(4), 492–503,
- Bravo, F., Del Río, M., Bravo-Oviedo, A., Peso, C., Montero, G. 2008. *Forest Management Strategies and Carbon Sequestration*. En: F. Bravo *et al.* (eds.), *Managing Forest Ecosystems: the challenge of Climate Change*. Springer. Pp: 179-194
- Bravo-Oviedo, A., Gallardo-Andrés, A., Río, M., Montero, G., 2010. Regional changes of *Pinus pinaster* site index in Spain using a climate-based dominant height model. *Canadian Journal of Forest Research*, 40: 2036-2048
- Brundtland, G.H., (coord) 1987. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo "*Nuestro futuro común*". ONU World Commission on Environment and Development.
- Cailleret M., *et al.* 2017 A synthesis of radial growth patterns preceding tree mortality. *Glob Change Biol* 23:1675–1690
- Calama, R., Puértolas, J., Manso, R., Pardos, M. 2015. Defining the optimal regeneration niche for *Pinus pinea* L. through physiology-based models for seedling survival and carbon assimilation. *Trees*: DOI: 10.1007/s00468-015-1257-5
- Calama, R., Gordo, J., Madrigal, G., Mutke, S., Conde, M., Montero, G., Pardos, M. 2016. Enhanced tools for predicting annual stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production at tree and forest scale in Inner Spain. *Forest Systems*, 25(3), e079. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016253-09671>
- Calama R.; Manso R.; Lucas-Borja, M.E.; Espelta J.M.; Piqué, M.; Bravo, F.; Del Peso, C.; Pardos, M. 2017. Natural regeneration in Iberian pines: A review of dynamic processes and proposals for management. *Forest Systems*, Volume 26, Issue 2, eR02S. <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11255>
- De Dios García, J., Pardos, M., Calama, R. 2015. Interannual variability in competitive effects in mixed and monospecific forests of Mediterranean stone pine. *Forest Ecology and Management* 358: 230–239 doi: 10.1016/j.foreco.2015.09.014
- Fernández-Manjarrés, J.F.; Benito-Garzón, M. 2015. El debate de la migración asistida en los bosques de la Europa Occidental. Capítulo 41 en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. *Magrama*. pp 463-468
- Forrester, D.J.; Theiveyanathan, S.; Collopy, J.J.; Marcar, N.E. 2010. Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology and Management*, 259 (9): 1761-1770

- García-Guemes, C., Calama, R. 2015. La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. Capítulo 46 en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Magrama. Pp 501-512
- García-Valdés, R., Zavala, M.A., Araujo, M.B., Purves, D.W. 2013. Chasing a moving target: projecting climate change-induced changes in non-equilibrium tree species distribution. *Journal of Ecology* 101: 441-453
- García-Valdés, R., Svenning, J.C., Zavala, M.A., Purves, D.W., Araújo, M.B. 2015. Evaluating the combined effects of climate and land-use change on tree species distribution. *J Appl Ecol* 52: 902-912
- Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Castro, J., Baraza, E. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration in Mediterranean ecosystems: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14: 1128-1138
- González, J.M., Piqué, M., Vericat, P. 2011. Manual de Ordenación por rodales. Gestión Multifuncional de los espacios forestales. *Naturaleza y Parques Nacionales*. Serie Técnica. OOA Parques Nacionales.
- Gordo J., Calama, R., Rojo, L.I., Madrigal G., Álvarez, D., Mutke, S., Montero, G., Finat, L. 2009. Experiencias de clareos en masas de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. En: SECF-Junta de Castilla y León (eds), *Actas del 5º Congreso Forestal Español-Montes y Sociedad: Saber qué hacer* {Ref.: 5CFE01-172}: 1-13
- Gordo J., Calama, R., Pardos, M., Bravo F., Montero, G. (eds). 2012. La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana. Valladolid: Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible-Universidad de Valladolid-INIA.254 pp
- Gordo J.; Rojo, J.I.; Cubero, D.; Madrigal, G.; Calama, R.; Mutke, S.; Pardos, M.; González-Romero, A.; Martínez, C.; Montero, G. 2017. Clareos en masas de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. *Actas 7º Congreso Forestal Español*. DOI 10.13140/RG.2.2.35742.64320
- Gracia, C.A., Sabaté, S., López, B., Sánchez, A. 2001. Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global. En: Zamora, R. y Pugnaire, F. (eds.). *Ecosistemas mediterráneos: Análisis funcional*. CSIC y AEET. 351-372
- Herrero, A.; Zavala, M.A., (eds.) 2015. *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Hódar, J.A., 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, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Ann Rev Ecol Syst* 4: 1-23
- Innes, J., Joyce, L.A., Kellomäki, S., Louman, B., Ogden, A., Parrotta, J.; Thompson, I. 2009. Management for adaptation. In: Seppälä, R., Buck, A. & Katila, P. (eds.). *Adaptation of forests and people to climate change: A global assessment report*. IUFRO World Series Vol. 22. IUFRO, Vienna. p. 53–100.
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al *Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs
- Jactel, H., Nicoll, B.C., Branco, M., González-Olabarria, J.R., Grodzki, W., Langstrom, B., Moreira, F. *et al.* 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Ann For Sci* 66(7):701

- Jiménez, F.J.; Gordo, F.J., González, A. 2006. Serie Técnica. Colección Manuales Gestión Forestal Sostenible. Junta de Castilla y León.
- Jump, A.S.; Hunt, J.M.; Peñuelas, J.; 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12, 2163–2174
- Knoke, T.; Ammer, C.; Stimm, B.; Mosandl, R. 2008. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *European Journal of Forest Research* 127 (2), 89-101
- Lindner, M. (coord.) et al. 2008. Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. AGRI-2007-G4-06 Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development
- Lindner, M.; Maroschek, M., Netherer, S.; Kremer, A.; Barbati, A.; García-Gonzalo, J.; Seidl, R.; Delzon, S.; Corona, P.; Kolström, M.; Lexer, M.J.; Marchetti M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For Ecol Manage* 259:698–709
- Lindner, M.; Calama, R. 2013. Climate change and the need for adaptation in Mediterranean forests. In Lucas-Borja M.E. (Ed.). *Mediterranean Forest Management under the new context of Climate Change*. Nova Science Publishers.
- Locatelli, B.; Brockhaus, M.; Buck, A.; Thompson, I; Bahamondez, C.; Murdock, T.; Roberts, G.; Webbe, J. 2010- Forests and Adaptation to Climate Change: Challenges and Opportunities. IUFRO *World Series* no. 25. Viena
- Manso, R., Pukkala R., Pardos M., Miina J., Calama, R. 2014. Modelling *Pinus pinea* forest management to attain natural regeneration under present and future climatic scenarios. *Can J For Res*, DOI: 10.1139/cjfr-2013-0179
- Matesanz, S.; Valladares, F. 2013. Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental Botany* 103:53-67
- Mayoral, C., Calama, R., Sánchez-González M.O., Pardos, M. 2015. Modelling the influence of light, water and temperature on photosynthesis in young trees of mixed Mediterranean forests. *New Forests* DOI 10.1007/s11056-015-9471-y
- Macgillivray, C., Grime, J., & The Integrated Screening Programme (ISP) Team. 1995. Testing Predictions of the Resistance and Resilience of Vegetation Subjected to Extreme Events. *Functional Ecology*, 9(4), 640-649
- Mestre, I.; Casado, M.J.; Rodríguez, E. 2015. Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. Capítulo 2 en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. MAGRAMA. pp 87 -98
- Millar, C.I., Stephenson, N.L.; Stephens, S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8), 2007, pp. 2145–2151
- Nemani, R.R.; Keeling C.D., Hashimoto, H.; Jollu, W.M.; Piper, S.C.; Tucker, C.J.; Myneni, R.B.; Running, S. 2003. Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. *Science* 300, 1560-1563
- Noaa 2017. National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series, published November 2017, retrieved on November 23, 2017 from <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- OECC 2006. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. S.G. para la prevención de la contaminación y del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente
- OECC 2014. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Tercer Programa de Trabajo

- 2014-2020. Secretaria de Estado de Medio Ambiente. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Pardos M, Montes F, Aranda I, Cañellas I. 2007. Influence of environmental conditions on germinant survival and diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in central Spain. *Eur. J. For. Res.*, 126 (1): p. 37-47.
- Pardos M., Pérez, S., Calama, R., Alonso-Ponce, R., Lexer, M.J. 2016. Ecosystem service provision, management systems and climate change in Valsaín forest, central Spain. *Regional Environmental Change*. DOI: 10.1007/s10113-016-0985-4:
- Pardos M., Calama, R. 2017. Responses of *Pinus pinea* seedlings to moderate drought and shade: is the provenance a differential factor? *Photosynthetica* 55. doi:10.1007/s11099-017-0732-1
- Peñuelas, J., Lloret, F., Montoya, R. 2001. Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science*, 47: p. 214-218.
- Peñuelas, J.; Filella, I.; Comas, P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Glob Change Biol* 8:531–544
- Peñuelas, J.; Boada, M. 2003. A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9, 131–140.
- Pretzsch, H., Shtuz, G. 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *European Journal of Forest Research* 128: 183–204
- Puettmann K.J., Coates K.D., Messier C. 2009. A critique of silviculture: Managing for Complexity. Island Press.
- Ramírez, M. 2017. Estudio de los factores que influyen en la presencia, supervivencia y crecimiento del regenerado de *P. pinea*, *Q. ilex* y *J. oxycedrus* en los valles de los ríos Tiétar y Alberche. TFG. ETS Ingeniería de Montes, *Forestal y del Medio Natural*. UPM.
- Robinet, C., Rousselet, J., Roques, A., 2013. Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Ann. For. Sci.* <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-013-0287-7>
- Ruiz Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., López-Senespleda, E., Montero, G. Río, M. 2013. Do thinnings influence biomass and soil carbon stocks in Mediterranean maritime pinewoods?. *European Journal of Forest Research* 132(2): 253-262
- Sanchez-Salguero, R., *et al.*, 2012. Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change*, 113 (2-4): p. 767-785.
- Sanchez-Salguero, R.; Camarero, J.J.; Carrer, M.; Gutiérrez, E., Alla, A.Q.; Andreu-Hayles, L.; Andrea Hevia, A.; Koutavas, A.; Martínez-Sancho, E; Nola, P; Papadopoulos, A.; Pasho E.; Toromani, E.; Carreira, J.A.; Linares, J.C. 2017. Climate extremes and predicted warming threaten Mediterranean Holocene firs forests refugia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(47):201708109
- Settele, J., Scholes, R.; Betts, R.; Bunn, S.; Leadley, P.; Nepstad, D.; Overpeck; Taboada, M.A. 2014: Terrestrial and inland water systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 271-359.
- Sevilla, F. 2015. Gestión forestal anticipadora (o como prevenir riesgos mediante intervenciones frecuentes). Capítulo 50 en Herrero A & Zavala MA (eds). *Los Bosques y la Bio-*

- diversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. MAGRAMA. pp 543-553
- Sixto H., Cañellas I, Arendonk J.V., Ciria, P., Camps, F., Sánchez, M., Sánchez-González, M. 2015. Growth potential of different species and genotypes for biomass production in short rotation in Mediterranean environments. *For Ecol Manag* 354: 291-299
- Spathelf, P.; Van der Maaten, E.; Van der Maaten-Theusissen, M.; Campioli, M.; Dobrowolska, D.; 2013. Climate change impacts in European forests: the expert views of local observers. *Ann For Sci* DOI 10.1007/s13595-013-0280-1
- Swanston, C; Janowiak, M. (eds.) 2012. Forest adaptation resources: Climate change tools and approaches for land managers. Gen. Tech. Rep. NRS-87. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 121 p.
- Vericat, P., Piqué, M., Serrada, R. 2012. Gestión Adaptativa al cambio global en masas de *Quercus* mediterráneos. Centre Tecnologic Forestal de Catalunya. Solsona (Lleida). 172 p.
- Vilagrosa, A.; Chirino, E., Bautista, S., Urgeghe, A.A., Alloza, J.A., Vallejo, V.R. 2008. Proyecto de lucha contra la desertificación: regeneración y plan de manejos de zonas semiáridas degradadas en el T.M. de La Albaterra. Cuadernos Sociedad Española Ciencias Forestales 28: 317-322