



C. García-Güemes¹, R. Calama²

¹ Servicio Territorial de Medio Ambiente. Burgos. gargueca@jcy.es

² Dpto. de Silvicultura y Gestión Forestal. CIFOR-INIA. Madrid. rcalama@inia.es

La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático

Resultados clave

- La silvicultura para la adaptación al cambio climático debe reducir la vulnerabilidad de los bosques frente a los impactos observados/esperados y potenciar la capacidad de adaptación inherente de los bosques.
- La silvicultura para la adaptación al cambio climático debe fundamentarse en los principios de la gestión forestal sostenible y garantizar el cumplimiento de los objetivos específicos de la planificación.
- Los principios básicos de la silvicultura para la adaptación son el incremento de la diversidad específica y estructural, la mejora del vigor y resistencia individual, la promoción de los cambios naturales y la flexibilización y localización de la gestión.
- La puesta en práctica de la silvicultura para la adaptación no implica diseñar nuevas intervenciones, sino reorientar las prácticas selvícolas habituales de manera que permitan alcanzar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Introducción

La silvicultura para la adaptación al cambio climático es la respuesta técnica a los impactos observados y esperados que sobre nuestros bosques tiene el cambio climático. Aunque en nuestro país todavía no es muy frecuente la consideración de las restricciones de las nuevas y futuras condiciones climáticas en la práctica selvícola, la silvicultura para la adaptación está implantándose paulatinamente en algunos de nuestros sistemas forestales. El objetivo de este texto es contribuir a la divulgación de algunas de estas intervenciones selvícolas.

Impactos del cambio global en los bosques mediterráneos

Las proyecciones del IPCC (2007) dibujan escenarios que sugieren que a medio plazo grandes superficies boscosas se pueden ver afectadas por las nuevas condiciones climáticas. En la península ibérica, el incremento de la temperatura provocará en la vegetación un incremento de la evapotranspiración potencial (ETP). La tendencia del régimen hídrico será (en el mejor de los casos) de mantenimiento de las condiciones actuales. Como consecuencia, necesariamente se incrementará el déficit hídrico, por lo que la tendencia será hacia una mayor aridez. Los impactos esperados en el medio mediterráneo a medio plazo han sido abordados en otras secciones de este informe (ver también Lindner & Calama 2013) e incluyen entre otros:

- Desplazamiento y migración de especies forestales por cambio de las condiciones ambientales.
- Procesos de extinción y sustitución de especies.
- Aumento de los procesos de decaimiento (reducción del crecimiento, pérdida de vigor vegetativo, defoliación, mortalidad,...) asociados con procesos de sequía y ocurrencia de temperaturas estivales extremas.
- La acción de agentes nocivos como plagas y patógenos puede verse favorecida por las nuevas condiciones ambientales y la mayor duración del periodo vegetativo.
- Incremento de las perturbaciones abióticas, tales como incendios de grandes dimensiones - asociados a una mayor probabilidad de ocurrencia de olas de

calor y los parámetros de inducción asociados, como son las temperaturas elevadas, baja humedad relativa y vientos convectivos- o derribos por viento.

- Cambios en la productividad primaria neta de los bosques mediterráneos, que pueden llegar a convertirse en emisores de carbono en la segunda mitad del siglo XXI.

La recuperación de la cubierta forestal por la ausencia de intervención en el medio muestra unas tendencias (p.ej. expansión de especies por ausencia de pastoreo extensivo o por falta de demanda de leñas) que en cierto modo pueden enmascarar los impactos referidos. Consiguientemente, los efectos del cambio climático en los bosques españoles se pueden comprobar mejor en aquellos montes que han mantenido una gestión continuada, donde el efecto de los cambios socioeconómicos en el manejo del territorio es limitado. Entre otros, en estos ecosistemas encontramos los siguientes impactos identificables:

- Dificultades en la regeneración a plena luz de especies en principio heliófilas en el límite más xerófilo de su distribución, como es el caso del *Pinus pinaster* en los arenales de la Meseta Norte (Gordo et al. 2012) o de *Pinus sylvestris* en las zonas bajas del Sistema Ibérico.
- Episodios de decaimiento y mortalidad en diversas especies (seca en *Quercus sp.*, pérdida de vigor en plantaciones de *Pinus sp.* en el SE español o en los hayedos del Montseny, etc.) relacionados con periodos de sequía intensa, como fueron los años 1994-95 ó 2005 (Peñuelas et al. 2001, Jump et al. 2006, Sánchez-Salguero et al. 2012).
- Mayor incidencia de plagas, debido tanto a un incremento altitudinal en su área de influencia (caso de la procesionaria del pino, *Thaumetopoea pytiocampa* en Sierra Nevada, Hódar et al. 2003) como al alargamiento o duplicación de los periodos de actividad de los insectos (*Ips sexdentatus*).
- El aumento del límite altitudinal del bosque, fenómeno observado en gran parte de las montañas mediterráneas, (Peñuelas & Boada 2003, Sanz-Elorza et al. 2003), que no se explica sólo por el movimiento de las isoterms asociado al calentamiento del clima, sino también por el abandono del pastoreo extensivo en áreas alpinas.

■ Principios de la selvicultura para la adaptación al cambio climático

La selvicultura para la adaptación frente al cambio climático debe incluir el conjunto de intervenciones cuyo objetivo sea (i) reducir la vulnerabilidad de los bosques frente a los impactos asociados a las nuevas condiciones climáticas; y (ii) potenciar la resiliencia y capacidad de adaptación de los bosques, garantizando en cualquier caso la consecución de los objetivos definidos para la gestión forestal en estos nuevos escenarios (Lindner et al. 2010, Lindner & Calama 2013). A partir de estas dos ideas generales la selvicultura para la adaptación define una serie de principios que se traducen en prácticas determinadas. A nivel nacional puede encontrarse una descripción de

medidas adaptativas propuestas y aplicadas en la gestión práctica en Serrada et al. (2011) y Rodríguez-Soalleiro et al. (2009). Dentro de la bibliografía que trata los principios que promueven la adaptabilidad de los montes al cambio climático, sintetizamos los siguientes (parcialmente basados en Thompson et al. 2009, Innes et al. 2009):

Incremento de la diversidad inter e intraespecífica

La diversidad de especies trabaja en una doble vertiente: por un lado los bosques mixtos son más resistentes a las perturbaciones originadas por sequías o tormentas (Knocke et al. 2010) y son más susceptibles de recuperarse rápidamente tras el episodio catastrófico que los bosques monoespecíficos (Jactel et al. 2009). En este sentido, conviene recordar que muchas plagas forestales presentan un elevado grado de especificidad referida a la especie atacada. En este sentido, las grandes masas monoespecíficas - como es el caso de muchas repoblaciones - son más susceptibles a las plagas que las masas mixtas.

Por otro lado, una base genética y específica amplia permite una mayor capacidad adaptativa frente a alteraciones climáticas, ya que se amplía el rango de condiciones ecológicas compatibles con la presencia de una cubierta forestal. Asimismo, una alta diversidad intra- e interespecífica permite seleccionar de manera natural los individuos mejor adaptados a las nuevas condiciones. En los ambientes mediterráneos, la diversificación específica puede realizarse a distintas escalas espaciales, que abarcan desde bosquetes de poca extensión hasta las mezclas por tramos monoespecíficos de gran superficie a escala de monte.

Incremento de la diversidad estructural

Similar en concepto al principio anterior, este principio se basa en el distinto grado de susceptibilidad o vulnerabilidad que a un determinado daño biótico o abiótico tienen los distintos grupos de tamaño o edad. Las sequías y heladas tempranas o tardías pueden afectar en mayor grado a los individuos en fase de desarrollo juvenil, mientras que los vendavales y temporales de nieve afectan en mayor grado a los árboles de mayor altura (Mayer et al. 2005) sobre todo en relación con la esbeltez (definida como la relación entre la altura del árbol y su diámetro, Del Río et al. 1997). En los ecosistemas mediterráneos, la presencia de un estrato arbóreo adulto puede favorecer las condiciones de desarrollo de los individuos del sotobosque (tanto de su especie como de otras especies) mediante el conocido como efecto “nodriza” (Gómez-Aparicio et al. 2004, Pardos et al. 2007).

Incremento de la resistencia individual frente a agentes bióticos y abióticos

La selvicultura para la adaptación frente al cambio climático se fundamenta en plantear aquellas prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa de las especies forestales frente al factor de estrés más limitante, que en el caso mediterráneo es el déficit hídrico. Para ello es necesario que cada individuo alcance su mayor potencial de crecimiento y desarrollo, lo que le dotará del mayor vigor posible. De esta manera, los individuos serán menos susceptibles al ataque de patógenos

en bajos o medios niveles de infestación (cuando suelen centrarse en los pies más debilitados) y más resistentes a los episodios de sequía (Kohler et al. 2010). Este objetivo debe conseguirse reduciendo periódicamente la densidad para incrementar progresivamente la superficie de crecimiento potencialmente disponible de cada individuo. Es fundamental, por tanto, la aplicación de regímenes de claras desde edades tempranas (Gordo et al. 2009), reduciendo así la competencia por los recursos hídricos.

El incremento del vigor individual implica una reducción del volumen de la masa en pie, lo que asimismo disminuye el riesgo de daño en eventos extraordinarios o perturbaciones como el fuego. Asimismo, al incrementarse el diámetro de los árboles se reduce su esbeltez, siendo más resistentes a los daños por viento, nieve, etc.

Promover/acelerar cambios de estructuras o especies

El incremento del déficit hídrico generado por el incremento de las temperaturas y la reducción de la precipitación, que conducen a aumentos de la ETP y reducción de la productividad primaria neta, puede disminuir el vigor de los árboles, provocando fenómenos de decaimiento y/o mortalidad masiva, asociados a la interacción de la sequía y agentes patógenos (McDowell et al. 2008). Esta circunstancia puede ser especialmente crítica en aquellas áreas en las que la vegetación se encuentra en el límite de su rango de habitabilidad. Desde un punto de vista adaptativo, se debe promover el cambio de estructuras y de especies de manera proactiva, potenciando la introducción de aquellas especies y variedades mejor adaptadas a un rango futuro de condiciones. En el caso mediterráneo, algunas especies representan el último estadio de vegetación arbórea previo a la sustitución por el matorral, por lo que en el caso de que se considere necesario preservar una cubierta arbórea, podría plantearse la introducción de procedencias más resistentes a la sequía, o incluso especies alóctonas. En cualquier caso, las especies o procedencias deben seleccionarse de manera tal que garanticen una sustitución gradual antes escenarios cambiantes y no un desplazamiento de las especies / procedencias originales en escenarios actuales.

Flexibilizar, diversificar y localizar la selvicultura

La implementación de una selvicultura encaminada a la adaptación requiere una flexibilización en la programación de actuaciones. En este contexto pierden fuerza conceptos clásicos en la gestión forestal como son el turno de renovación de la masa forestal, la programación y planificación de intervenciones a medio y largo plazo, o la definición de la posibilidad maderera (volumen maderable a extraer al objeto de garantizar la máxima renta y la renovación de la masa), reforzándose la idea de aplicar una selvicultura mucho más localizada en el espacio y en el tiempo (Puettmann et al. 2009, Messier et al. 2013). Esta selvicultura debe estar basada en la intervención en el momento adecuado, de forma que se permita una rápida respuesta ante una perturbación desfavorable o un evento favorable (selvicultura de adaptación reactiva). Por otra parte debe ser lo suficientemente flexible como para poder responder a un amplio e incierto rango de condiciones

climáticas futuras (selvicultura de adaptación proactiva). La finalidad de esta selvicultura será orientar a la masa a un estado compatible con un amplio rango de estados finales objetivo. A esta localización de la selvicultura debe añadirse la consideración del riesgo en la planificación, como un elemento inherente al sistema. La selvicultura debe programarse y aplicarse teniendo en cuenta aquel factor de mayor riesgo para la sostenibilidad del sistema forestal y de sus producciones y servicios derivados.

■ Aplicación práctica de los principios de la selvicultura para la adaptación al cambio climático

En este apartado se presentan ejemplos reales de aplicación de los principios de selvicultura para la adaptación al cambio climático a la gestión de los sistemas forestales. La mayoría se refiere a ejemplos ya implementados en la gestión práctica, en los que, además, se realiza un seguimiento experimental de los resultados, de acuerdo a los principios de la gestión adaptativa (Helms 1998).

Reducción del volumen en pie

El abandono de las prácticas agrarias tradicionales, junto con la aplicación de una selvicultura excesivamente prudente (o directamente ausente) en amplias zonas de nuestro país, ha provocado una fuerte acumulación de biomasa en las últimas décadas. Este proceso de capitalización no puede ser positivamente valorado de forma unánime, cuando ya son frecuentes los montes de la montaña mediterránea que alcanzan un volumen en pie superior a 200 – 300 m³/ha. Estas situaciones suponen unas espesuras excesivas, que necesariamente influyen en la reducción del vigor vegetativo individual debido a la competencia por los recursos hídricos. Ello incrementa la susceptibilidad de decaimiento frente a episodios de sequía. Por otra parte, en zonas afectadas por elevada recurrencia de incendios forestales, una elevada biomasa en pie es la causa de una mayor intensidad de fuego (Mitsopoulos & Dimitrakopoulos 2007), lo que dificulta su control y extinción.

La reducción del volumen en pie debe ser aplicada de manera prudente en edades avanzadas. Los regímenes de claras deben ser lo suficientemente intensos en las primeras intervenciones, de tal forma que los individuos de la masa residual mantengan siempre un vigor vegetativo que les haga menos vulnerables a las perturbaciones. Una apertura gradual del dosel desde edades tempranas evita una puesta en luz más agresiva en rodales envejecidos, cuando los individuos tienen una menor capacidad de respuesta a la clara. Por otra parte, la desaparición del efecto protector del rodal tras la clara incrementa la susceptibilidad frente a derribos por viento.

Ejemplo 1. Aplicación de claras en pinares de *P. sylvestris* en Burgos

Las últimas revisiones de muchos proyectos de ordenación en masas naturales gestionadas de pino albar o silvestre (*Pinus sylvestris*) en el Sistema Ibérico concentran la posibilidad en las claras, reduciendo la importancia relativa de las cortas de regeneración o cortas finales

Tabla 1. Comparación del volumen de madera a extraer por tipos de corta en dos revisiones decenales del Proyecto de Ordenación, en el MUP 223 “El Pinar” de Hontoria del Pinar y el MUP 251 “La Dehesa”, de Quintanar de la Sierra (ambos en la provincia de Burgos). Obsérvese el incremento programado de las cortas así como el aumento muy notable de las claras, que en ambos casos superan holgadamente a las cortas de regeneración en el decenio vigente. En el caso de las claras, la posibilidad maderera se ha multiplicado por 6 (en el caso del MUP 223) y por 10 (en el caso del MUP 251) respecto a lo programado en el decenio anterior.

TIPO DE CORTA	MUP 223 2011-2020	MUP 223 2001-2010	MUP 251 2011-2020	MUP 251 2001-2010
Regeneración (m ³)	30.123,70	46.000,00	114.384,11	115.936,00
Claras (m ³)	87.379,52	14.000,00	248.846,82	25.000,00
Entresaca (m ³)			27.208,70	
Secos (m ³)				25.000,00
TOTAL (m³)	117.503,22	60.000,00	390.439,63	165.936,00
% Claras	74,4	23,3	63,7	15,1

(Tabla 1, Figura 1). Con estas prácticas, se mejora el vigor individual de los pies remanentes y la calidad final de los productos, generando asimismo una renta económica al propietario desde edades relativamente tempranas.

Ejemplo 2. Aplicación de clareos precoces e intensos en pinares de pino piñonero (*Pinus Pinea*) en Valladolid

La silvicultura tradicional aplicada en regenerados y repoblados densos de *P. pinea*, basada en una apertura gradual poco intensa de la masa a partir de los 20 años de edad acompañada de una poda de penetración, ha sido sustituida en la Meseta Norte (provincias de Segovia, Valladolid y Burgos) por una propuesta de silvicultura más intensiva. En esta nueva orientación se reduce la densidad desde edades tempranas (10-15 años)

mediante un clareo intenso hasta valores entre 250-400 pies/ha, retrasándose en algunos casos la aplicación de la poda hasta la primera clara (Gordo et al. 2009, Figura 2).

Estos clareos precoces tienen un efecto muy positivo sobre el crecimiento radial de los pies remanentes, en especial en los meses de sequía estival más intensa (Cañellas et al. 2008, Del Río et al. 2011), habiéndose detectado además un mayor efecto de puntiseado (desechamiento y pérdida de turgencia en los brotes anuales) en años especialmente secos como 2009 en aquellas zonas no tratadas. Por último, el clareo precoz anticipa la producción de fruto, objetivo principal de la gestión de estos pinares (Aguirre 2011). La aplicación del clareo precoz y el retraso de la poda

Figura 1.



Figura 1. Clara mecanizada en pinar de *Pinus sylvestris* en la provincia de Burgos.

Fuente: Rafael Calama.

Figura 2.



Figura 2. Clareo en pinar de *Pinus pinea* a los 10 años de edad en Olmedo (Valladolid), reduciendo la densidad a 400 pies/ha y retrasando la poda. La intervención en estas edades tan tempranas ya supone una mejora en el estado fisiológico de los árboles, especialmente en los meses de sequía estival.

Fuente: Rafael Calama.

suponen un abaratamiento de los costes de la operación, que pueden ser financiadas mediante la comercialización de la biomasa (Gordo et al. 2009, Figura 3).

Ejemplo 3. Resalveos en montes bajos de *Quercus*

Los montes bajos de distintas especies de *Quercus* fueron tradicionalmente tratados mediante cortas a hecho (aquellas cortas que implican la eliminación simultánea de todos los árboles) en turnos cortos destinados a la obtención de leña. Tras la implementación del gas butano en el mundo rural, durante los años 60 y 70 del siglo pasado, la gestión en estos montes fue abandonada, habiéndose superado el turno de corta, presentando espesuras excesivas, problemas de decaimiento, reducción de producción de bellota, y ausencia de regeneración sexual (Serrada et al. 2011, Vericat et al. 2012). Estos sistemas se consideran muy vulnerables frente a fenómenos de decaimiento asociados al clima (particularmente a sequías), además de presentar unas estructuras favorables a la propagación de incendios.

Desde los principios de la selvicultura para la adaptación al cambio climático se propone aplicar resalveos (cortas en monte bajo en las que se dejan en pie algunos individuos) de moderados a fuertes, seleccionando el brote más vigoroso de cada cepa (definido como el de mayor potencialidad de crecimiento), que pueden ir acompañados de otras medidas como poda y acotado al ganado (Bravo-Fernández & Serrada, 2012). El Resalveo de *Quercus* se ha demostrado una práctica eficiente para evitar los fenómenos de estancamiento del crecimiento en años especialmente secos (Figura 4, Cotillas et al. 2009).

El actual incremento de la demanda de madera de pequeñas dimensiones que se observa en muchas zonas del país, básicamente por el desarrollo de la industria lignoenergética (biomasa), facilita estas intervenciones precoces, que se pueden realizar sin coste e incluso proporcionar una pequeña renta a la propiedad. Ejemplos de este tipo de intervención son los resalveos en monte bajo adulto de *Quercus pubescens* en Lleida (Vericat & Piqué 2012) o de *Quercus pyrenaica* en Burgos (Sevilla 2012).

■ Figura 3.



▲ Figura 3. En la primera intervención en una plantación de *Pinus pinea* de 18 años en Lerma (Burgos) se han extraído unas 80 t/ha, dejando la densidad en 350 pies/ha. La comercialización de la biomasa ha financiado íntegramente la poda de la masa residual.

Fuente: Carlos García-Güemes.

■ Figura 4.



▲ Figura 4. Ensayo de resalveo como medida adaptativa frente a la reducción de precipitación, instalado por el CREAM en el Bages (Barcelona). Las masas resalveadas de especies de *Quercus* experimentan mayores crecimientos y producción de fruto que las no resalveadas, especialmente en años muy secos.

Fuente: Rafael Calama.

Ejemplo 4. Aplicación de clareos en rodales muy jóvenes y limpios en regenerado post-incendio de *Pinus halepensis*

Los regenerados post-incendio en *Pinus halepensis* pueden alcanzar densidades superiores a 50,000 pies/ha. Estos regenerados de alta densidad constituyen estructuras muy vulnerables a la incidencia de nuevos fuegos y plagas, y los individuos que los componen presentan serios problemas de estancamiento en el crecimiento, decaimiento y retraso en la aparición

de piñas (Figura 5). Al objeto de promover la generación de estructuras de menor riesgo, así como el crecimiento y vigor individual de los pinos y la fructificación precoz que permita reponer el banco de semillas del suelo, se están realizando clareos precoces (sobre regenerados naturales de menos de 10 años, González-Ochoa et al. 2004), areales, mecanizados y de fuerte intensidad, asumiendo la eliminación de más del 80-90% de los pies, hasta densidades en torno a 1000 – 1600 pies/ha (Espelta & Verkaik, 2007). Esta intervención se acompaña de una limpieza del matorral existente en el sotobosque. La aplicación del clareo en una edad temprana supone

además un abaratamiento de los costes de corta, al permitir el uso de motodesbrozadoras y maquinaria ligera para apertura de calles, y de eliminación de residuos.

Cortas de regeneración

En las estaciones más xéricas donde se busca la regeneración natural, cobra una gran relevancia la protección del regenerado. Pequeños cambios en las condiciones microclimáticas han hecho fracasar repetidamente regenerados naturales de *Pinus pinea* (comarcas de Nava del Rey y Viana de Cega, Valladolid), *Pinus pinaster* (Coca, Segovia) y *Pinus sylvestris* (Vilviestre del Pinar, Burgos), en zonas donde la regeneración a pleno sol era habitual. La protección de una mayor reserva de árboles adultos se hace necesaria para que el regenerado pueda instalarse. La tendencia, por tanto, será a conseguir una mayor irregularización de la masa, con una paulatina reducción de la superficie ocupada por las masas coetáneas procedentes de regeneración natural.

Ejemplo 1. Nuevas propuestas de cortas de regeneración en pinares de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster* en los arenales de la Meseta Norte

La regeneración de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster* en la Meseta Castellana se encuentra comprometida actualmente en aquellas estaciones de condiciones más xéricas y suelos con menor capacidad de retención

de agua (Gordo et al. 2012). En el caso de *P. pinea* se han identificado como principales cuellos de botella la escasa espesura de las masas, la predación invernal de piñón por roedores y la supervivencia de plántulas durante el primer verano post-emergencia (Manso et al. 2014), a los que hay que añadir la irregularidad en las cosechas de fruto, factor ligado a variables climáticas, y susceptible de disminuir en escenarios climáticos de mayor sequía. En el caso de *P. pinaster* el factor limitante para la regeneración ha sido la elevada mortalidad estival de plántulas recién emergidas, únicamente mitigada en los rodales más espesos (Gordo et al. 2012). Para ambas especies se están aplicando unas cortas de regeneración más graduales y progresivas, priorizando la liberación del regenerado establecido, y alargando los periodos de regeneración (Figura 6), lo que en determinados casos conduciría a la irregularización de las masas.

Ejemplo 2. Nuevas propuestas de cortas de regeneración en masas de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* relacionadas con el alargamiento periodos de regeneración y la cobertura

Las masas de *P. sylvestris* en el Sistema Ibérico han sido tradicionalmente regeneradas mediante cortas a hecho en diversas variantes o mediante cortas de aclareo sucesivo uniforme (aquéllas en las que se mantiene una cobertura de arbolado adulto inicial que garantiza una fuente de semilla y una protección al regenerado). Los fracasos del regenerado observado en las estaciones más xéricas y de mayor exposición han

■ Figura 5.



▲ **Figura 5.** Regenerado post-incendio de *Pinus halepensis* en el Bages (Barcelona), con una densidad superior a 20.000 pies/ha y síntomas de estancamiento. La aplicación de clareos muy fuertes en esta fase de desarrollo mejora el modelo de combustible, favorece el crecimiento individual y la fructificación precoz, mecanismo que garantiza la persistencia de un banco de semillas que permita la regeneración de la masa en caso de ocurrencia de un nuevo fuego.

Fuente: Rafael Calama.

■ Figura 6.



▲ **Figura 6.** La liberación gradual del regenerado preestablecido bajo las copas de *P. pinea* se considera una medida prioritaria para favorecer la regeneración en las estaciones más xéricas.

Fuente: Rafael Calama.

orientado la silvicultura de regeneración de esta especie hacia la aplicación de cortas graduales de liberación, preferentemente por bosquetes, de manera tal que se garantice una cobertura de protección al regenerado en sus fases iniciales (Pardos et al. 2007). Las cortas a hecho deben de quedar limitadas a las mejores estaciones, independientemente de otras restricciones paisajísticas o ecológicas que se deban imponer a las mismas (Figura 7). En el caso de *Pinus nigra* la marcada vecería de la especie, unido a su temperamento tolerante y problemas asociados a la germinación han condicionado el

alargamiento y flexibilización de los turnos de corta y periodos de regeneración, conduciendo las masas hacia unas estructuras semirregulares (Alejano et al. 2008).

Promoción de masas mixtas

Las masas mixtas, o con presencia significativa de especies acompañantes, presentan mayor estabilidad. La productividad forestal de la especie principal no se ve afectada por la presencia de una especie acompañante

■ **Figura 7.**



▲ **Figura 7.** Las cortas a hecho en masas de *Pinus sylvestris* (izquierda) deben quedar restringidas a las zonas de mejor estación sin limitaciones de tipo paisajístico o erosivo. En el resto de estaciones se recomiendan cortas de regeneración más graduales (derecha).

Fuente: Rafael Calama.

en proporciones de hasta el 20% en volumen, debido al distinto aprovechamiento de los recursos (diferente arquitectura y desarrollo de los sistemas radicales, diferencias en los periodos vegetativos,...). Esta circunstancia es particularmente notable cuando las especies que se mezclan presentan mayores diferencias desde el punto de vista ecofisiológico, como las mezclas pino-frondosa tipo *Pinus sylvestris-Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris-Quercus pyrenaica*, *Pinus pinaster-Quercus pyrenaica*, *Pinus pinea-Quercus ilex*, etc. (e.g. del Río & Sterba 2009, Condés et al. 2013).

Ejemplo 1. Diversificación específica de pinares de *Pinus sylvestris* en Burgos

La promoción y graduación de las mezclas se consigue lógicamente mediante la aplicación de claras selectivas. No obstante, gran parte de las mezclas que se observan representan estadios inestables, en los que la dinámica natural tiende a favorecer a alguna de las especies, bien porque se ha creado un ambiente nemoral que permite la instalación de especies más exigentes (pinares de pino silvestre progresivamente invadidos por el haya, Figura 8), por el abandono de prácticas tradicionales (pinares de pino silvestre con un sotobosque de rebollo, Figura 9), bien por el incremento de xericidad en las zonas límite de distribución (pinares de pino silvestre sustituidos por pinares de pino resinero, Figura 10).

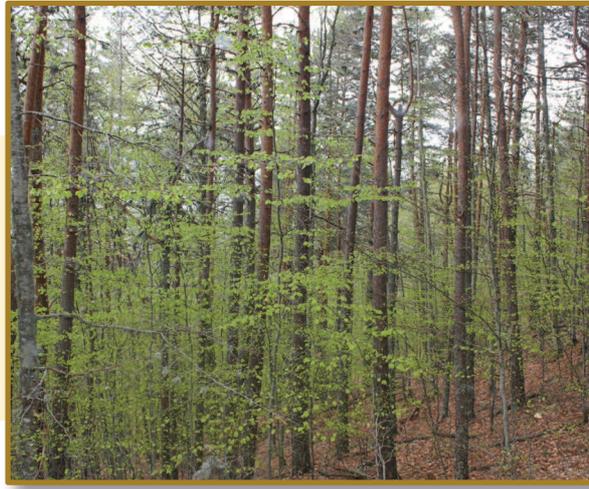
Ejemplo 2. Diversificación específica y estructural de repoblaciones en pinares mediterráneos

Las masas monoespecíficas y coetáneas, como es el caso de los pinares de repoblación, pueden presentar una alta vulnerabilidad en determinados momentos de su desarrollo, derivada del hecho de que muestran el mismo nivel de respuesta frente a un agente de daño biótico (plaga) o abiótico (tormenta, sequía). Frente a ello, estructuras de mayor heterogeneidad espacial y estructural pueden considerarse más resilientes. En gran parte de las repoblaciones realizadas con especies de pinos es fácil encontrar un abundante regenerado a la espera o subvuelo de especies de *Quercus*, especialmente en aquellas zonas con condiciones menos favorables para las coníferas. En estos casos se propone realizar cortas aclaratorias sobre el pinar, acompañadas de un resalveo sobre los individuos de *Quercus* (Arrechea 2012), la realización de plantaciones de diversificación bajo cubierta y el mantenimiento de matorrales espinosos (Cuesta et al. 2010), o incluso dejar en el monte madera y restos de cortas (Castro & Leverkus 2012) que puedan actuar como nodrizas del regenerado.

Ejemplo 3. Gestión de la composición y la competencia de masas mixtas *Pinus pinea* – *Juniperus* – *Quercus*

Un caso particular de masas mixtas lo constituyen aquellas formaciones en las que una especie ha sido considerada tradicionalmente como dominante, objetivo prioritario de la gestión, apareciendo acompañada de otras especies de un estrato inferior que en el mejor de los casos, eran ignoradas por los gestores, pudiendo llegar a ser eliminadas para evitar la competencia por los recursos. Las masas mixtas en las que el estrato arbóreo de pinar,

■ Figura 8.



Fuente: Carlos García-Güemes.

▲ **Figura 8.** Lo que hace unas décadas era un pinar monoespecífico de *Pinus sylvestris* de excelente calidad en el MUP 243 “Ahedo o Pinar” de Neila (Burgos), se ha convertido en una masa mixta con haya debido tanto a las condiciones creadas por el pinar como al abandono de las cortas de leña. El mantenimiento de la masa mixta pasa por la ejecución de cortas por bosquetes que permitan una insolación del suelo tal que la conífera pueda regenerarse a plena luz.

■ Figura 9.



Fuente: Carlos García-Güemes.

▲ **Figura 9.** En los acotamientos que suceden a las cortas a hecho es frecuente la mezcla de especies, como en este caso del MUP 251 “La Dehesa” de Quintanar de la Sierra (Burgos). Tras la corta a hecho se realizó un cerramiento que impidió el paso al ganado, logrando una regeneración muy abundante de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica*. Antiguamente, la primera actuación consistía en un ligero claro en los pinos y la corta de todos los rebollos. Incluso en los rodales más productivos, tiene plena justificación desde el punto de vista de la selvicultura para la adaptación el mantenimiento de una proporción significativa de la frondosa.

■ Figura 10.



Fuente: Carlos García-Güemes.

▲ **Figura 10.** A pesar de que en las zonas de contacto entre *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster* la selvicultura tradicional ha tratado de favorecer a la primera especie por la mejor calidad de su madera, las condiciones climáticas juegan a favor de *Pinus pinaster*. En estas zonas, la selvicultura para la adaptación debe acompañar la dinámica natural de la vegetación, sin forzar la presencia de una especie que previsiblemente quedará fuera de estación en pocas décadas. (MUP 212 “El Pinar”, de Canicosa de la Sierra, Burgos).

aparecía acompañado por un monte bajo de *Quercus*, generalmente muy denso y cuyo aprovechamiento ha sido abandonado, y presencia más o menos aislada de individuos de otras especies de los géneros *Juniperus* e *Ilex* constituyen ejemplos de esta tipología: *Pinus pinea-Quercus ilex-Juniperus oxycedrus* en el Sistema Central; *Pinus sylvestris* y/o *Pinus pinaster-Quercus pyrenaica-Juniperus communis* en la Sierra de Guadarrama; *Pinus pinea-Quercus faginea-Juniperus thurifera* en los páramos calizos de la Meseta Norte.

La gestión de estas masas se está orientando al mantenimiento y regeneración de todas las especies, aplicando cortas de regeneración mediante entresaca generalizada sobre el pinar, resalveo sobre el monte bajo de *Quercus* (Figura 11) y liberación de los individuos de *Juniperus*, favoreciendo el mantenimiento de un pequeño número de pinos de gran tamaño, que jugarán un papel preponderante como árboles percha necesarios para la dispersión por aves de las semillas de *Juniperus* y *Quercus* (Calama et al. 2012). De acuerdo al principio de complementariedad de nichos, en este tipo de masas se ha identificado una mayor productividad y menor competencia sobre la especie dominante que en las masas puras (De Dios et al. 2013).

■ **Figura 11.**



Fuente: Rafael Calama.

▲ **Figura 11 .** Resalveo de *Quercus ilex* y *Quercus faginea* en una masas mixta natural dominada por *Pinus pinea* en la provincia de Valladolid.

Ejemplo 1. Reforestaciones en la provincia de Burgos

Como muestra de los principios expuestos anteriormente, en la última década se han realizado numerosas reforestaciones bajo esta óptica de diversificación e introducción de especies mejor adaptadas. Algunos ejemplos en la provincia de Burgos podemos encontrarlos en Castrogeriz (*Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Juniperus thurifera*), Quintanar de la Sierra (*Pinus pinaster*), Burgos (*Cedrus atlantica*, *Sorbus domestica*, *Juniperus thurifera*, *Pinus halepensis*), Villanueva Río-Ubierna (*Amigdalus communis*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*) o Las Quintanillas (*Pinus pinea*). En todos los casos, estas especies no se encuentran de manera espontánea en la zona donde se ha realizado la repoblación.

En incluso si deseamos mantener la especie o especies principales, puede ser que lo más aconsejable sea introducir procedencias más xéricas que las locales, que previsiblemente puedan quedar fuera de estación a

Replantaciones forestales

La elección de especie es el aspecto clave en los proyectos de repoblación forestal. Su determinación exige un estudio edáfico y climático, para determinar que especies y qué procedencias dentro de esas especies se adaptan mejor a los parámetros edafoclimáticos obtenidos. Pero la información climática del pasado, que es la recogida en las estaciones meteorológicas, no se corresponde con el clima de las próximas décadas, que es el clima bajo el que se va a desarrollar la masa forestal implantada. La necesaria toma en consideración de los escenarios climáticos futuros puede conducir a la elección de especies más xerófilas que las indicadas bajo las condiciones climáticas pasadas. Un segundo aspecto a considerar es la necesidad de zonificar e territorio y promover la diversidad de especies en las reforestaciones, seleccionando la especie a introducir a una escala inferior al rodal, y con criterios ecológicos (humedad, orografía, suelo). Por último, en las repoblaciones forestales debe de considerarse poner en práctica aquellas técnicas que supongan una mejor economía del recurso limitante (agua), nuevamente referido a una escala de trabajo inferior al rodal.

corto plazo. No obstante, esta práctica no es consistente con lo recomendado técnicamente para la silvicultura multifuncional (Alia et al., 2005) ni en general por lo legislado por las Comunidades Autónomas.

Ejemplo 2. Selección de especies para plantaciones productivas en la cornisa cantábrica

En el caso de plantaciones productivas con especies exóticas se recomienda anticiparse al cambio usando aquellas especies y variedades adaptadas a las nuevas condiciones (FAO, 2013). En el caso de las plantaciones en estaciones con clima atlántico (Galicia, Cornisa Cantábrica) las nuevas condiciones climáticas pueden provocar que las especies actualmente utilizadas en plantaciones productivas (*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*) no sean las más competitivas. En este sentido se desarrolla el proyecto europeo Reinforce (<http://w3.pierroton.inra.fr/IEFC/>; Euskadi Forestal, 2010), en el que se propone evaluar 32 especies a lo largo de 38 arboretos y 41 sitios de ensayos en todo el

arco atlántico europeo (Portugal, España, Francia, Reino Unido) al objeto de identificar las especies, variedades y técnicas selvícolas que optimicen la producción para cada región. El proyecto incluye a distintas administraciones públicas, entidades de propietarios e industriales de las regiones implicadas. Entre las especies evaluadas se incluyen desde las especies exóticas actualmente utilizadas (*Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziesii*), especies autóctonas atlánticas (*Quercus robur*, *Fagus sylvatica*) hasta especies propias del medio mediterráneo (*Pinus pinea*, *Ceratonia siliqua*). La evaluación se realizará en términos de crecimiento y resistencia frente a agentes bióticos y abióticos.

Ejemplo 3. Nuevas técnicas de restauración en terrenos semiáridos del SE de España

La restauración en zonas proclives a la desertificación debe orientarse a la optimización del uso del recurso limitante (agua) en todas las fases y prácticas asociadas. Entre las prácticas propuestas se plantea aplicar técnicas de estratificación del territorio de acuerdo a atributos ecológicos, uso de distintas especies y densidades de plantación de acuerdo a la zonificación anterior, mejora de la resistencia a la sequía en vivero, uso de técnicas de implantación específicas (microcuencas, distintos tubos invernadero, enmiendas orgánicas, mulch) o el empleo de maquinaria que minimice el impacto, como la retroaraña. Un ejemplo paradigmático de las técnicas anteriores lo constituye la cuenca de la Albaterra en la provincia de Alicante (Vilagrosa et al. 2008), donde se ha conseguido mejorar la supervivencia de plántulas en condiciones extremas frente a técnicas tradicionales. Otras propuestas apuntan a la necesidad de plantear riegos estivales en combinación con mulch (Figura 12) como una medida para garantizar la supervivencia de plántulas en veranos muy secos (Pardos et al. 2012).

Localización y flexibilización de la gestión

La elección de un itinerario selvícola para un rodal deberá realizarse no sólo observando sus características

actuales (calidad de estación, forma principal de masa, espesura, etc.) sino teniendo en cuenta las condiciones climáticas futuras que, dependiendo del caso, pueden tener una influencia decisiva en los parámetros caracterizadores del mismo. Los escenarios climáticos futuros, dentro de su nivel de incertidumbre, deben ser un elemento fundamental en el diseño de la silvicultura.

Recomendaciones para la aplicación

A lo largo del capítulo se han presentado los distintos principios fundamentales de la silvicultura para la adaptación al cambio climático, y una serie de ejemplos reales de transposición de estos principios a la práctica de la gestión forestal. La caracterización de una silvicultura para la adaptación al cambio climático de un determinado sistema forestal requiere en primer lugar del conocimiento, seguimiento y evaluación de los posibles impactos y la definición de niveles críticos de los mismos que obliguen a la puesta en práctica de las medidas. Un segundo aspecto fundamental es la definición de los objetivos de la gestión en términos de servicios ecosistémicos (tanto productivos, como protectores, ambientales, sociales...), al objeto de que la silvicultura para la adaptación al cambio a diseñar garantice la provisión de los mismos. En el diseño o adaptación de las medidas adaptativas propuestas se deben tener en cuenta los caracteres inherentes de las especies (tolerancia a la sombra, requerimientos hídricos o nutricionales, método de dispersión de semillas, capacidad de rebrote...) y la posible respuesta de las especies a los escenarios previstos de cambio en temperaturas o régimen hídrico. Por último, cualquier propuesta de silvicultura para la adaptación debe apoyarse en una modificación de las prácticas actuales y en un monitoreo continuado del efecto de estas prácticas, de acuerdo a los principios de la gestión adaptativa.

Figura 12.



Fuente: Rafael Calama.

Figura 12. El uso del riego estival en combinación con el mulch ha permitido triplicar la supervivencia estival en una repoblación de 1 año de edad de *Pinus pinea* y *Quercus ilex* en San Martín de Valdeiglesias (Madrid).

■ Referencias bibliográficas

- Aguirre M (2011) *Efecto de claros y poda temprana en el crecimiento y la arquitectura de copa del pino piñonero*. ETSIIAA Palencia, Universidad de Valladolid
- Alía R, Alba N, Agúndez D, Iglesias S (2005) *Manual para la comercialización y producción de semillas y plantas forestales. Materiales de base y de reproducción*. Serie Forestal, DGB, Madrid
- Arrechea E (2012) Regeneración de *Quercus ilex* en masas artificiales de *Pinus sylvestris*. En: Vericat P, Piqué M, Serrada S, editores. *Gestión Adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona. pp. 164-165
- Bravo-Fernández A, Serrada R (2012) Resalveos de conversión en montes bajos envejecidos de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*). En: Vericat P, Piqué M, Serrada S, editores. *Gestión Adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona. pp. 142-145
- Calama R, Pardos M, Mayoral C, Madrigal G, Sánchez-González MO (2012) Regeneración de *Pinus pinea* y *Juniperus oxycedrus* en masas mixtas piñonero – encina – enebro en los Valles del Tiétar y del Alberche (Sistema Central, España). V Reunión GT Selvicultura SECF, Madrid
- Cañellas I, Bachiller A, Calama R, Madrigal G, Mutke S, Pardos M, Gordo J (2008) Effects of early silvicultural practices on Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands. Communication oral en EFI Scientific seminar “Adaptation of Forest Landscape to Environmental Changes”, Orvieto
- Castro J, Leverkus AB (2012) La saca de la madera quemada perjudica la regeneración natural y asistida de especies forestales en el Parque Nacional de Sierra Nevada. En: Martínez-Ruiz C, Lario FJ, Fernández-Santos B, editores. *Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación*. SECF-AEET. pp. 27-34
- Condés S, Del Río M, Sterba H (2013) Mixing effect on volume growth of *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* is modulated by stand density. *Forest Ecology and Management* 292: 86-95
- Cotillas M, Sabaté S, Gracia C, Espelta JM (2009) Growth response of mixed Mediterranean oak coppices to rainfall reduction. Could selective thinning have any influence on it? *Forest Ecology and Management* 258: 1677-1683
- Cuesta B, Villar-Salvador P, Puértolas J, Rey-Benayas JM, Michalet R (2010) Facilitation of oak in Mediterranean shrubland is explained by both direct and indirect interactions mediated by herbs. *Journal of Ecology* 98: 688-697
- De Dios J, Pardos M, Conde M, Madrigal G, Calama R (2013) Gestión de la composición y de la densidad en pinares de *Pinus pinea* L. de la Meseta Norte, una medida adaptativa al cambio climático. XI Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre, Pamplona
- Del Río M, Montero G, Ortega C (1997). Respuesta de los distintos regímenes de claras a los daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* en el Sistema Central. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 6: 103-117
- Del Río M, Sterba H (2009). Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Annals of Forest Science* 66:502
- Del Río M, Aguirre M, Calama R, Madrigal G, Gordo FJ, Finat L, Álvarez D, Montero G, Mutke S (2011) Early thinning for crown expansion and drought stress reduction. AgroPine2011. International Meeting on Mediterranean stone pine for Agroforestry, Valladolid
- Espelta JM, Verkaik I (2007) Effect of thinning and post-fire regeneration age on growth and reproductive traits of *Pinus halepensis* forests. *Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens* 75: 93- 97
- FAO (2013). *Climate change guidelines for forest managers*. FAO Forestry Paper 172
- Gómez-Aparicio L, Zamora R, Gómez JM, Hódar JA, 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
- Gordo J, Calama R, Pardos M, Bravo F, Montero G (2012). *La regeneración natural de los pinares en los arenales de la Meseta Castellana*. Instituto Universitario de Investigación, Universidad de Valladolid-INIA
- Gordo J, Calama R, Rojo LI, Madrigal G, Álvarez D, Mutke S, Montero G, Finat L (2009). Experiencias de claros en masas de *Pinus pinea* L. en la Meseta Norte. En: *Actas del 5º Congreso Forestal Español-Montes y Sociedad: Saber qué hacer*. SECF-Junta de Castilla y León
- González-Ochoa AI, López-Serrano FR, de las Heras J (2004) Does post-fire forest management increase tree growth and cone production in *Pinus halepensis*? *Forest Ecology and Management* 188: 235-247
- Helms JA (1998) *Dictionary of forestry*. Society of American Foresters and CABI Publishing.
- 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
- Innes J, Joyce LA, Kellomaki S, Loumann B, Ogden A, Parrotta J, Thompson I (2009). Management for adaptation. En: Seppala R, Buck A, Katila P, editores. *Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report*. IUFRO World Series Vol. 22: 135-169

- Jactel H, Nicoll BC, Branco M, Gonzalez-Olabarria JR, Grodzki W, Långström B, Moreira F, Netherer S, Orazio C, Piou D, Santos H, Schelhaas MJ, Tojic K, Vodde F (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science* 66:701
- Jump AS, Hunt JM, 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: 89-101
- Kohler M, Nägele G, Sohn S, Bauhus J. (2010). The impact of different thinning regimes on the drought tolerance of Norway Spruce (*Picea abies*). *European Journal of Forest Research* 129: 1109-1118
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709
- Lindner M, Calama R (2013). Climate change and the need for adaptation in Mediterranean forests. En: Lucas-Borja ME, editor. *Mediterranean Forest Management under the new context of Climate Change*. Nova Science Publishers. pp. 13-28
- Manso R, Pukkala T, Pardos M, Miina J, Calama R (2014) Modelling *Pinus pinea* forest management to attain natural regeneration under present and future climatic scenarios. *Canadian Journal of Forest Research* 44: 250-262
- Mayer P, Brang P, Dobbertin M, Hallenbarter D, Renaud J-P, Walthert L, Zimmermann S (2005) Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science* 62:303-311
- McDowell NG, Pockman W, Allen C, Breshears D, Cobb N (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb? *New Phytologist* 178: 719-739
- Messier C, Puettmann K, Coates D (2013) *Managing Forests as Complex Adaptive Systems. Building Resilience to the Challenge of Global Change*. Earthscan from Routledge, Abingdon
- Mitsopoulos ID, Dimitrakopoulos AP (2007) Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Annals of Forest Science* 64: 287-299
- 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. *European Journal of Forest Research* 126: 37-47
- Pardos M, Calama R, Mayoral C, Madrigal G, Sánchez-González M (2012) Efecto del riego estival y del mulch orgánico en la supervivencia inicial y crecimiento de una plantación de *Pinus pinea* y *Quercus ilex* en una zona quemada. En: Martínez-Ruiz C, Lario FJ, Fernández-Santos B, editores. *Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación*. SECF-AEET. pp. 41-47
- Peñuelas J, Lloret F, Montoya R (2001) Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science* 47:214–218
- Peñuelas J, Boada M (2003) A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biology* 9: 131-140
- Puettmann KJ, Coates KD, Messier C (2009) *A critique of silviculture. Managing for complexity*. Island Press, Washington, D.C.
- 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. Available: http://docs.gip-ecofor.org/public/echoes/Echoes_SpanishReport-October2009.pdf
- Sanz-Elorza M, Dana ED, Gonzalez A, Sobrino E (2003). Changes in the high-mountain vegetation of the central Iberian Peninsula as a probable sign of global warming. *Annals of Botany* 92: 273-280
- Sánchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo R, Camarero JJ, Fernández-Cancio A (2012) Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change* 113: 767-785
- Serrada R, Aroca MJ, Roig S, Bravo A, Gómez V (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal*. MIMARM. Available: <http://www.pfcyl.es/documento/impactos-vulnerabilidad-y-adaptaci-n-al-cambio-clim-tico-en-el-sector-forestal>
- Sevilla F (2012) Clara en *Quercus pirenaica* con objetivo de mejora de la vitalidad y producción de madera de calidad a largo plazo. . En: Vericat P, Piqué M, Serrada R, editores. *Gestión Adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona. pp. 156-159
- Thompson I, Mackey B, McNulty S, Mosseler A (2009) *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43
- Vericat P, Piqué M, Serrada R. (2012) *Gestión Adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona
- Vericat P, Piqué M (2012) Resalvos en monte bajo adulto de roble pubescente (*Quercus pubescens*, Willd). En: Vericat P, Piqué M, Serrada R, editores. *Gestión Adaptativa al cambio global en masas de Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona. pp 150-151
- Vilagrosa A, Chirino E, Bautista S, Urghe AA, Alloza JA, Vallejo VR (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