



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



SilvAdapt.net: Red Española de Gestión Forestal Adaptativa al Cambio Climático

ANTONIO J. MOLINA¹, JAVIER PÉREZ-ROMERO¹, RAFAEL M^a NAVARRO-CERRILLO², JUAN F. BELLOT³, JUAN A. BLANCO⁴, J. JULIO CAMARERO⁵, ARNAUD CARRARA⁶, VÍCTOR M. CASTILLO⁷, TERESA CERVERA⁸, GONZALO G. BARBERÁ⁷, MARÍA GONZÁLEZ-SANCHIS¹, ÁLVARO HERNÁNDEZ⁹, J. BOSCO IMBERT⁴, M. NOELIA JIMÉNEZ¹⁰, PILAR LLORENS¹¹, MANUEL E. LUCAS-BORJA¹², GERARDO MORENO¹³, MARIANO MORENO-DE LAS HERAS^{11,14,15}, FRANCISCO B. NAVARRO¹⁶, NOEMÍ PALERO⁸, MARÍA ÁNGELES RIPOLL¹⁶, DAVID REGÜES⁵, FRANCISCO J. RUIZ-GÓMEZ², ALBERTO VILAGROSA¹⁷, ANTONIO D. DEL CAMPO¹

¹Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia.

²Depto. Ingeniería Forestal, Laboratorio de Selvicultura, dendrocronología y cambio climático. DendrodatLab-ERSAF. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Ctra. IV, km. 396, E-14071 Córdoba.

³Multidisciplinary Institute for Environmental Studies “Ramon Margalef” and Research Group in Management of Ecosystems and Biological Diversity. Ecology Department. University of Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig s/n, E-03690 Alicante.

⁴Institut for Multidisciplinary Research and Applied Biology, Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía, Pamplona, E-31006 Navarra.

⁵Pyrenean Institute of Ecology (IPE-CSIC). Campus de Aula Dei. Avda. Montañana 1005, E-50.059 Zaragoza.

⁶Fundación CEAM, Joint Research Unit University of Alicante – CEAM, Univ. Alicante, PO Box 99, 03080 Alicante.

⁷Department of Soil and Water Conservation. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura CEBAS-CSIC, PO Box 164, 30100 Espinardo, Murcia.

⁸Centre de la Propietat Forestal (CPF). Ctra. Sabadell a Santa Pèrpetua de Mogoda km, 4,5. 08130 Santa Perpètua de Mogoda.

⁹Servicio Provincial de Zaragoza de Desarrollo Rural y Sostenibilidad. Gobierno de Aragón.

¹⁰Departamento de Botánica, Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. Campus La Cartuja s/n, 18071 Granada.

¹¹Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC). Jordi Girona, 18-26, E-08034 Barcelona.

¹²Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética, Universidad de Castilla La Mancha, Campus Universitario s/n, C.P. 02071 Albacete.

¹³Forest Research Group, INDEHESA, University of Extremadura, 10600 Plasencia.

¹⁴Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, E-28933 Móstoles (Madrid).

¹⁵Departament de Geografia, Universitat de Barcelona, E-08001 Barcelona.

¹⁶Área de Agricultura y Medio Ambiente, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA). Centro IFAPA Camino de Purchil. Camino de Purchil s/n, E-18004 Granada.

¹⁷Fundación CEAM, Joint Research Unit University of Alicante-CEAM, University of Alicante, P.O. Box 99, E-03080 Alicante.

Resumen

La severidad de los impactos producidos en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas forestales como consecuencia del cambio climático requiere que la gestión sea capaz de predecirlos y plantear medidas para aminorar sus efectos negativos, mejorando así la adaptación progresiva de los bosques a las nuevas condiciones. El manejo adaptativo debe nutrirse de información científica detallada y actualizada que permita cuantificar los efectos de diferentes tipos de gestión sobre procesos clave tales como la productividad o el consumo de agua. Existen diversos grupos de investigación en nuestro país que llevan años monitoreando parcelas de experimentación y generando un volumen importante de datos que necesitan ser homogeneizados y analizados de forma conjunta para que los resultados tengan una aplicabilidad real. Esta comunicación tiene como objetivo principal presentar la Red Española de Selvicultura Adaptativa al Cambio Climático como aquella que aglutina más de treinta sitios experimentales, la mayor parte de ellos ubicados en condiciones áridas y semiáridas y donde la cuantificación de las relaciones bosque-agua es de vital importancia para el planteamiento de medidas de gestión forestal. A su vez, se presentan los grupos de trabajo que se han conformado para la consecución de los objetivos específicos, así como la forma de abordarlos y los siguientes pasos que se plantean.

Palabras clave

Selvicultura, relaciones bosque-agua, incendios forestales, modelización forestal, resiliencia, pinares mediterráneos, restauración forestal.

1. Introducción

El cambio climático afecta directamente a variables bioclimáticas fundamentales para la vegetación, tales como la temperatura, la precipitación y otros componentes del balance hídrico y energético (Vayreda et al., 2012; Lindner et al., 2014; Amblar-Francés et al., 2017; Serrano-Notivoli et al., 2018). Cuando dichas variables biofísicas se integran para zonificar regiones ambientales relativamente homogéneas o bioclimas, entonces se observa que los cambios en las primeras suponen un desplazamiento geográfico de las segundas como consecuencia del cambio climático (Metzger, et al., 2008). Como ejemplo, Soteriades et al. (2017) señalan nítidamente como los fitoclimas norteafricanos cálidos y secos se implantarán en las zonas templadas del suroeste y este peninsular (suplantando al termo-mediterráneo).

Si bien la certidumbre en el cambio de los bioclimas es elevada, la trasposición de estos cambios a cambios en la estructura y las funciones de los ecosistemas forestales no es directa (Lindner et al., 2014), ya que el empleo de escenarios de cambio climático relativamente simples, con un número reducido de variables climáticas y en muchas ocasiones considerando valores medios, dista mucho de mostrar una imagen certera de los cambios probables de un ecosistema forestal. Esto es especialmente relevante en un territorio como el español, con una elevada variabilidad biogeoclimática, no sólo a escala nacional sino regional e incluso local (Roselló, 1997). La heterogeneidad espaciotemporal en las condiciones ambientales es una de las claves para compensar la variación temporal en el clima regional, al permitir que una especie encuentre microclimas locales donde persistir (Hampe y Jump, 2011). Se ha demostrado la relevancia de zonas de refugio (“forests refugia”) para la supervivencia de algunos bosques relicticos en zonas intensamente afectadas por elevadas mortalidades como consecuencia de olas de sequía y calor (McDowell et al., 2019).

En cualquier caso, lo que sí se ha observado en toda Europa es un cambio en los regímenes de perturbaciones que sufren los bosques (Seidl et al., 2016). Por ejemplo, en el caso de los incendios en España, el cambio en los índices de riesgo (Bedia et al., 2013), la mayor duración de la temporada (Moriondo et al., 2006), su mayor frecuencia, la superficie afectada y el número de incendios (de la Cueva et al., 2012) son métricas que se han usado para evidenciar los cambios del régimen del fuego y sus importantes consecuencias a nivel de resiliencia de los bosques (Doblas-Miranda et al., 2017).

En España, la gestión forestal se ha guiado tradicionalmente por objetivos de producción de biomasa y la protección del ecosistema considerando óptimos históricos. En un marco tan cambiante, parece evidente que una gestión forestal debe nutrirse de un abanico de nuevos criterios que varíen en función de la respuesta de los bosques a los cambios previsibles o ya producidos, de manera que experiencias que nos doten de datos complementarios son imprescindibles para un correcto diagnóstico y con ello abordar el problema de forma integral adaptativa.

La silvicultura adaptativa al cambio climático tiene como objetivo adaptar los bosques a las nuevas condiciones ambientales o, especialmente, mejorar la resiliencia a los cambiantes regímenes de perturbaciones (Seidl et al., 2016). La naturaleza y el alcance de los impactos observados y/o proyectados en diferentes tipos de bosques y biomas pueden diferir y, por consiguiente, fundamenta los objetivos locales de este manejo adaptativo. Este hecho diferencial del impacto ha impulsado la contraposición de términos como silvicultura adaptativa reactiva frente a proactiva (Lindner et al., 2014), o anticipar y mitigar riesgos frente a fomentar la resiliencia del bosque (Siedl et al., 2017). Estos calificativos se corresponden con los extremos de un continuo que va desde la poca o nula percepción de daños en el bosque hasta la presencia de impactos muy severos como la mortalidad en pie de centenares de hectáreas de bosque (Allen et al., 2010). En el

marco de estrategias adaptativas adoptado por Millar et al. (2007) y desarrollado en la práctica por Nagel et al. (2017), este continuo queda representado mediante varias estrategias de selvicultura en función del nivel de impacto previsto y los cambios en estructura y funciones a inducir en la masa: a) Tratamientos de resistencia: acciones que mejoran la defensa del bosque frente al cambio y las perturbaciones tratando de mantener condiciones relativamente inalteradas; b) Tratamientos de resiliencia: acciones que persiguen un cierto grado de cambio, pero permiten el retorno a una condición previa o de referencia después de una perturbación; c) Tratamientos de transición: acciones que intencionalmente acomodan y facilitan el cambio y permiten que los ecosistemas respondan de manera adaptativa a las condiciones cambiantes y nuevas; d) Sin tratamiento: representa la respuesta intrínseca del ecosistema forestal al cambio climático en ausencia de una gestión directa.

En el plano nacional, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), contempla al sector forestal (Serrada et al., 2011) aportando posibles medidas de adaptación en función del tipo de riesgo y del tipo de masa. No obstante, la citada publicación es sólo un resumen de propuestas y directrices selvícolas para una gestión adaptativa al cambio climático, que no profundiza suficientemente en descripciones técnicas (cuantificación de los tratamientos y de las estructuras resultantes) ni evidencia una práctica real. Otras publicaciones más recientes del Ministerio (Herrero y Zavala, 2015) sí ponen de manifiesto que, tanto instituciones de investigación como responsables de la administración y gestión de los bosques, están implementando acciones de selvicultura adaptativa en las masas españolas. No obstante, se aprecia que estas iniciativas son muy dispares según las masas, climas, autonomías, etc., trasluciendo que son fundamentalmente ejemplos aislados que no forman parte de la práctica habitual en gestión forestal, con la consiguiente pérdida de oportunidades y tiempo vital en muchos casos. Igualmente, es preciso que los resultados obtenidos en investigaciones y casos piloto puntuales trasciendan a selvicultores más allá del ámbito geográfico y administrativo de la zona de estudio. Para escalar estas experiencias al ámbito regional y nacional es preciso definir un marco lógico como el citado anteriormente (Millar et al., 2007; Nagel et al., 2017), que organice esta información dispersa y ayude a entender los impactos observados y los tratamientos más adecuados en función de la masa y las condiciones ambientales prevalentes, desde un punto de vista más funcional y con indicadores estándar sobre los procesos y aspectos evaluados.

En este contexto, diferentes grupos de investigación en nuestro país han producido y producen resultados que pueden permitir una mejora cuantitativa en los criterios de gestión forestal, su posterior aplicación mediante intervenciones selvícolas y su seguimiento/evaluación en la adaptación de los ecosistemas forestales. Estos grupos han desarrollado una experiencia que responde a las condiciones y necesidades locales y abordan la cuestión desde diferentes enfoques, tales como la ecofisiología, la ecohidrología, los ciclos biogeoquímicos, etc., y en paralelo han desarrollado metodologías propias. Confluir y armonizar dicha información tendría un efecto catalizador para generalizar e integrar respuestas que luego permitan adaptarlas según condiciones locales. A su vez, coordinar esfuerzos de grupos de investigación que usan parcelas de investigación que ya llevan años en funcionamiento y produciendo investigación de calidad, pero de forma individual y descoordinada, puede aportar un gran valor añadido.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es presentar la Red Española de Gestión Forestal Adaptativa al Cambio Climático (SilvAdapt.net), un lugar de encuentro para diferentes grupos de investigación que vienen trabajando en selvicultura adaptativa al cambio climático en nuestro país desde diferentes perspectivas y que con cuya integración se pretende desarrollar un marco analítico generalizable a todo el territorio. En este sentido, este trabajo pretende dar a conocer los sitios experimentales/grupos de investigación que forman parte de SilvAdapt.net, los grupos de trabajo que se han conformado para la consecución de los objetivos específicos, así como la forma de abordarlos y los siguientes pasos que se plantean.

3. Metodología

a. Descripción de los sitios experimentales

Silvadapt.net se compone de un total de 34 sitios experimentales, ubicados en un amplio rango geográfico y altitudinal (36.716-42.813°N, -6.468-1.802°O, 140-1800 m snm) y gestionados por 14 grupos de investigación de nuestro país (Figura 1). Con respecto a la vegetación presente, alrededor del 65% de los sitios experimentales se corresponden con rodales monoespecíficos de pino mediterráneo (la mayoría con pino carrasco como especie dominante), de los cuales el 50% crecen en condiciones áridas o semiáridas. Los bosques de robles y pinos eurosiberianos tienen ambos la misma presencia en la Red (15%). Los sitios experimentales con especies de roble se encuentran dentro de condiciones mediterráneas intermedias o nemoriales, mientras que aquellos con pinos eurosiberianos exhiben condiciones que van desde el mediterráneo hasta el oroboreal. El resto de sitios experimentales están constituidos por formaciones forestales de hayas y robles marcescentes, cuya presencia es inferior al 3%.

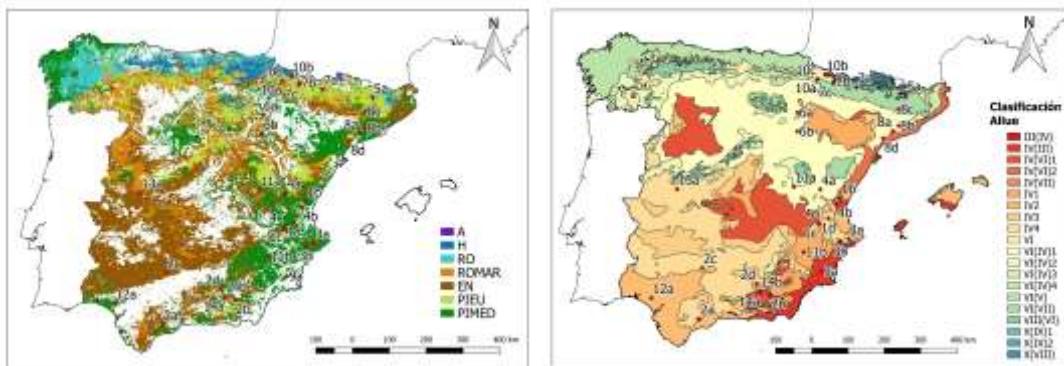


Figura 1. Distribución de los sitios experimentales según tipos forestales siguiendo Blanco et al. (1997) (izquierda) y subtipos climáticos según Allué (1998) (derecha). A: abetales, H: hayedos, RO: robledales y mixtas de frondosas, ROMAR: robledales marcescentes, EN: encinares y alcornoquales, PIEU: formaciones de *Pinus sylvestris* y/o *Pinus uncinata*, PIMED: resto de pinos; el resto de formaciones forestales y uso agrícola se encuentran en color blanco; tipo árido: subtipos III (IV) y IV (III), tipo mediterráneo: subtipos IV1, IV2, IV3, IV4, IV (VI)1 y IV (VI)2, tipo nemoral: subtipos VI(IV)1, VI(IV)2, VI (IV)3, VI(IV)4, VI (VII), VI (V), VI, IV1, IV2, IV3, IV4, IV (VI)1 y IV (VI)2, tipo oroboreal: VIII (VII), X (VIII) y X (IX)1

Con respecto a las acciones de gestión forestal, la mayoría de los sitios experimentales caracterizados por condiciones áridas o semiáridas incluyen acciones en las que se comparan parcelas aclaradas con parcelas sin manejo, mientras que en condiciones más húmedas no suelen compararse los efectos de la gestión con la no gestión (parcelas exclusivamente de control). El aclarado, como práctica que pretende mejorar el estado de crecimiento de los árboles remanentes a través del aumento en los aportes de agua y nutrientes, es la práctica forestal testada con más frecuencia. En segundo lugar, encontramos tratamientos de restauración enfocados a prevenir la erosión del suelo y recuperar la cubierta vegetal tras un incendio. Por último, los tratamientos del suelo para mejorar su rendimiento y la introducción de árboles jóvenes bajo el dosel también son acciones testadas, pero en menor medida que las anteriores.

En relación a las medidas que se vienen realizando en los sitios experimentales, encontramos una gran diversidad de éstas y que varían con los objetivos de las investigaciones en marcha, así como con la experiencia del grupo de investigación encargado de su mantenimiento (Figura 2). El 62% de los sitios experimentales están monitoreando variables meteorológicas comunes siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, mientras que el resto obtienen este tipo de información de las estaciones meteorológicas oficiales más cercanas. El 57% de los sitios están midiendo periódicamente variables que caracterizan la estructura forestal tales como el diámetro a la altura del pecho o la cobertura forestal, mientras que el índice de área foliar se monitorea en el 36% de los sitios. Las mediciones hidrológicas son las que están mejor representadas en la Red debido al importante papel de las relaciones bosque-agua en la mayoría de

los sitios; se realizan principalmente a escala del árbol/rodal con sensores automáticos que describen, entre otros procesos, la partición de la lluvia, la transpiración y el contenido de agua del suelo para diferentes profundidades o extendidas al todo el perfil del suelo. Además, en un número limitado de sitios experimentales se miden las descargas a la salida de la cuenca y los niveles freáticos, mientras que uno de los sitios cuenta con una torre de correlación de remolinos para estimar los ciclos del agua y del carbono a escala de paisaje.



Figura 2. Ejemplos de los monitoreos realizados en los sitios experimentales, clasificados según el tipo de medición: a) crecimiento, b) relaciones planta-agua, c) biogeoquímica y d) hidrología a escala de cuenca. La fotografía 'a' muestra el uso de sensores digitales para testar el efecto de la intensidad de aclareo en el crecimiento del diámetro en una reforestación de pino carrasco (sitio 14a). La imagen 'b' muestra mediciones de flujo de savia en rodales de encina, donde se compara la transpiración de una parcela control con la transpiración de una parcela tratada (reducción del 50 % del área basal) (sitio 1a). La imagen 'c' muestra recolectores de hojarasca en una reforestación de pino carrasco. La imagen 'd' muestra una estación de aforo tipo "Blume" utilizado para medir escorrentía en la salida de una cuenca de montaña con bosque natural (sitio 7a).

b. Grupos de trabajo

Los grupos de trabajo (GT) dentro de Silvadapt.net (<https://silvadaptnet.webs.upv.es/index.php/inicio/>) se dividen en dos grandes bloques, según trabajen en áreas temáticas o en aspectos transversales. Los GT según las áreas temáticas centran su esfuerzo en temas específicos dentro de un área concreta, mientras que los transversales dan soporte al trabajo realizado en cada área temática, además de agrupar toda la información generada por éstas y con ello obtener resultados globales. En este sentido, los GT conformados hasta el momento son los siguientes: GT temático Bosque-Agua, GT temático Resiliencia Climática, GT temático Resistencia al Fuego, GT temático Stocks de Carbono, GT temático Biodiversidad, GT transversal Modelización Forestal y GT transversal Transferencia y Difusión.

El GT temático Bosque-Agua tiene como objetivo fundamental cuantificar cómo la gestión forestal afecta la ecohidrología de masas propensas a recibir un impacto muy negativo del cambio climático en cuanto a disponibilidad hídrica, en especial las repoblaciones con pinares llevadas a cabo con carácter protector a mediados de la década de los sesenta y que actualmente se encuentran en muchos casos abandonadas y con una competencia hídrica muy elevada entre

individuos. A su vez, el rol de la gestión también se está analizando en otras tipologías forestales comunes en nuestro país, tales como masas de encina tanto adehesas como naturales, así como estructuras muy densas típicas del regenerado post-incendio. En este sentido, se viene llevando a cabo una doble tarea dentro del citado grupo: 1) obtención y homogenización de la información procedente de los diferentes sitios experimentales con medidas hidrológicas como paso previo al análisis de diferentes tipos de manejo forestal a escala de monte, 2) Revisión y elaboración de un meta-análisis de la información disponible en nuestro país para dilucidar el efecto del aclareo en los diferentes componentes del balance hídrico, así como de variaciones debidas a condiciones locales y/o al tiempo de la intervención forestal (Figura 3).

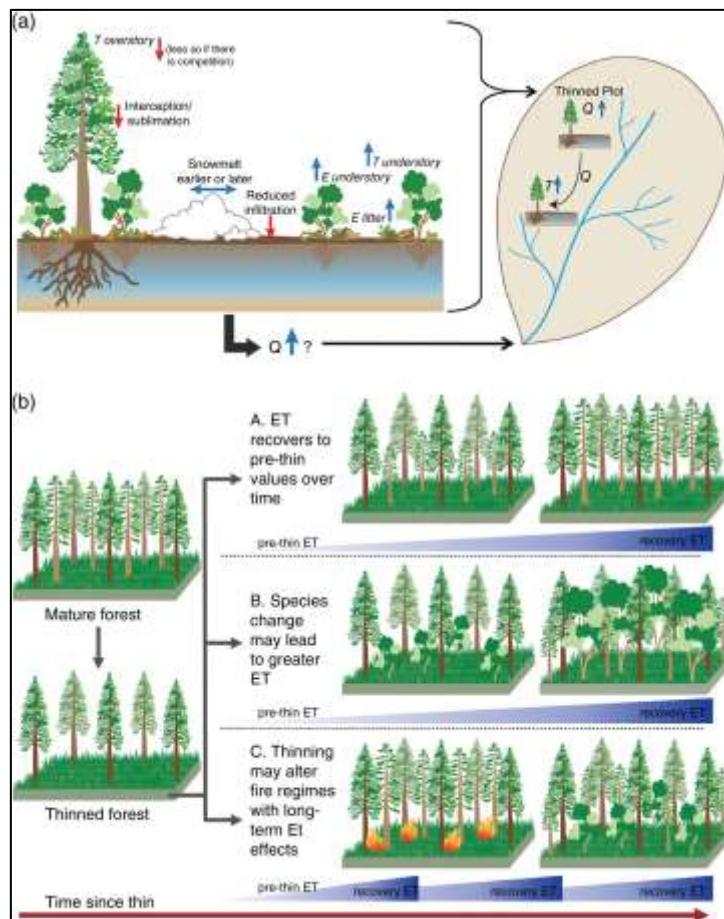


Figura 3. Ejemplo del efecto de la gestión forestal (aclareo) en los componentes del ciclo hídrico: (a) Cambios a corto plazo, donde T es la transpiración, E es la evaporación y Q es la escorrentía de agua superficial a escala de parcela o la recarga de agua subterránea. (b) Cambios en el ciclo del agua durante la recuperación posterior a la perturbación.

Tomado de Tague et al. (2019).

El GT temático Resiliencia Climática tiene como objetivo principal el desarrollo de un nuevo marco conceptual que permita la cuantificación del impacto de la sequía en el crecimiento secundario (datos dendrométricos) y su esperable aminoración como consecuencia del aclareo (Figura 4). Así, se están desarrollando índices en términos de resistencia, resiliencia y recuperación mediante la modelización de las trayectorias de crecimiento considerando una serie de factores (índice de sequía SPEI, tiempo e incremento basal inicial) (ver, por ejemplo, Manrique-Alba et al., 2022). Estos índices podrán ser testados posteriormente en diferentes sitios experimentales que conforman la Red y con ello cuantificar la respuesta de la masa en cuestión a episodios extremos de sequía.

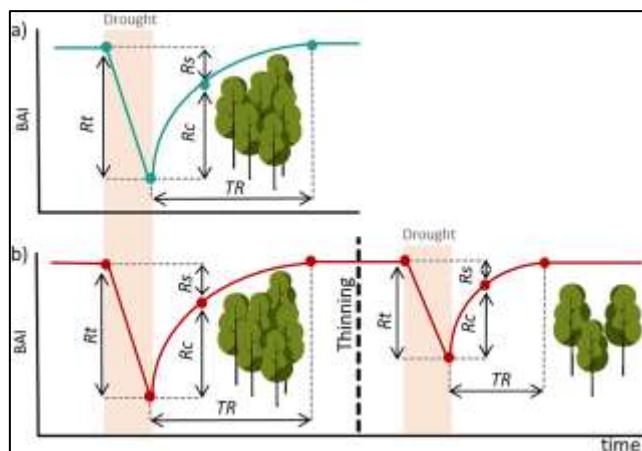


Figura 4. Modelo conceptual de vulnerabilidad a la sequía basado en las trayectorias de crecimiento de los árboles durante y después de una sequía. (a) El eje y representa el crecimiento del árbol (BAI, incremento del área basal), mientras que el eje x representa el tiempo en años. Las diferencias en el crecimiento en puntos de tiempo específicos permiten calcular la resistencia a la sequía (R_t), la resiliencia (R_s) y la recuperación (R_c), mientras que la trayectoria ascendente permite determinar el tiempo de recuperación (TR). (b) Se representan dos sequías de igual magnitud antes y después de un tratamiento de manejo (línea vertical discontinua) en parcelas control (línea azul) y tratadas (línea roja).

Tomada de Manrique-Alba et al. (2022).

El GT temático Resistencia al Fuego está trabajando tanto en la prevención de incendios como en la restauración de los ecosistemas forestales afectados, aunque en estos momentos los esfuerzos se están centrando en el segundo aspecto. Así, se están llevando a cabo varios trabajos para mejorar nuestro conocimiento acerca del efecto de prácticas comunes de restauración post-incendio en aspectos clave tales como la diversidad de especies, el riesgo de erosión o la evolución de la cobertura vegetal (Lucas-Borja et al., 2022). En este sentido, se está desarrollando una metodología que sea replicable en cualquier zona quemada para detectar la respuesta de la vegetación después de un incendio con el empleo de información satelital (Figura 5), y con ello cuantificar el efecto de la implementación de fajinas, por ejemplo.

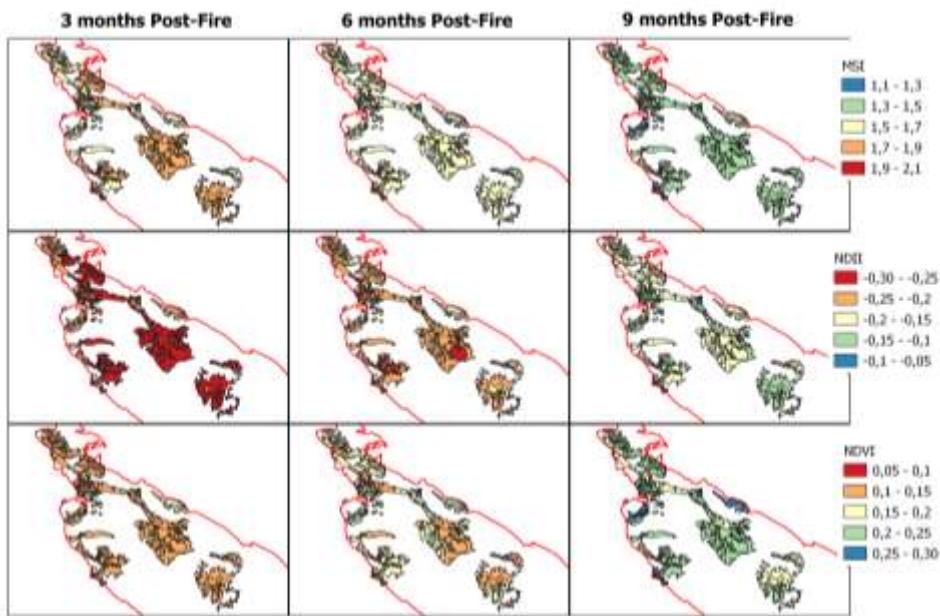


Figura 5. Obtención de índices de vegetación (MSI, NDII, NDVI, ver <https://www.indexdatabase.de/db/ias.php> para una descripción de éstos) para diferentes momentos tras un incendio forestal que permiten estudiar la evolución de la cobertura vegetal y el efecto de diferentes factores tales como la geomorfología o prácticas de restauración. En este caso, los índices se obtienen mediante el empleo de varias escenas procedentes de Landsat 7. Posteriormente, el código se integrará en una API abierta para su acceso libre

El GT temático *Stocks de Carbono* está centrando sus esfuerzos actuales en cuantificar el efecto del aclareo sobre el almacenamiento de carbono en el largo plazo de bosques de pináceas, para lo cual está integrando y analizando información de diferentes sitios experimentales en un gradiente latitudinal que va desde el norte hasta el sur de nuestro país. Los primeros resultados apuntan una reducción de la biomasa vegetal especialmente con tratamientos de alta intensidad, aunque éstos no reducen significativamente el secuestro de carbono en el suelo (Navarro-Cerrillo et al., bajo revisión) (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto del tratamiento de aclareo (T0: control, T40: intensidad baja, T70: intensidad alta) en el total de carbono tanto en la parte aérea como subterránea (planta y suelo), 10 años después de la intervención en una plantación madura de pino carrasco procedente de la Red

Stock Carbono en biomasa ($Mg\ C\ ha^{-1}$)			
	T0	T40	T70
Tronco	34.85 (8.55)	53.8 (14.15)	60.45 (10.80)
Ramas grandes			0.75 (1.20)
Ramas medianas	6.25 (1.55)	10.60 (2.80)	12.4 (2.60)
Ramas pequeñas y acículas	18.35 (4.25)	28.6 (7.20)	32.45 (5.95)
Raíces	17.35 (2.5)	24.55 (3.5)	27.8 (3.65)
Total	102.25 (14.55)	81.45 (6.75)	62.55 (8.2)
Stock Carbono en suelo ($Mg\ C\ ha^{-1}$)			
0-10 cm	13.8 (5.3)	14.1 (3.6)	11.4 (4.1)
10-20 cm	10.1 (3.8)	9.3 (3.5)	6.8 (2.3)
Total	23.90	23.40	18.20

El GT temático *Biodiversidad* está centrando sus esfuerzos en la obtención y mejora de un índice de biodiversidad potencial (IBP) que tiene en cuenta siete factores a escala de rodal (Figura 6), y que pretende ser fácilmente aplicable por parte de los gestores forestales (Baiges et al., 2019). El IBP está pensado principalmente para facilitar la integración de criterios de conservación de la biodiversidad en la gestión multifuncional, que combina diversos objetivos, incluyendo la producción de bienes y/o la prevención de incendios. Por el momento, el GT se encuentra en fase de análisis de datos y elaboración de información agregada, además de en hacer extensible el uso del índice a masas con poco número de pies.



Figura 6. Factores que se tienen en cuenta para calcular el índice de biodiversidad potencial (IBP) que se está aplicando y mejorando gracias a su estudio en diferentes parcelas experimentales de la Red, desde estructuras adehesadas con baja densidad arbórea hasta regenerados post-incendio de altísima densidad.

Con respecto al GT transversal Modelización Forestal, sus esfuerzos actuales se focalizan en analizar el comportamiento de masas maduras de pino carrasco bajo diferentes combinaciones de clima, topografía y suelo. De esta manera, se podrá cuantificar el efecto de la gestión forestal y/o del cambio climático según se encuentre dentro de una combinación u otra (Figura 7). Para ello, se calibrará y validará un modelo de procesos que generará situaciones sintéticas para cada combinación, las cuales posteriormente se utilizarán para llevar a cabo una optimización de la gestión forestal (cuanto, dónde y cuando cortar) en función de los objetivos de producción de agua, prevención de incendios, obtención de biomasa y mejora de la resiliencia. Esto permitirá establecer criterios de gestión forestal para todo el territorio según las condiciones locales y los efectos esperados del cambio climático.

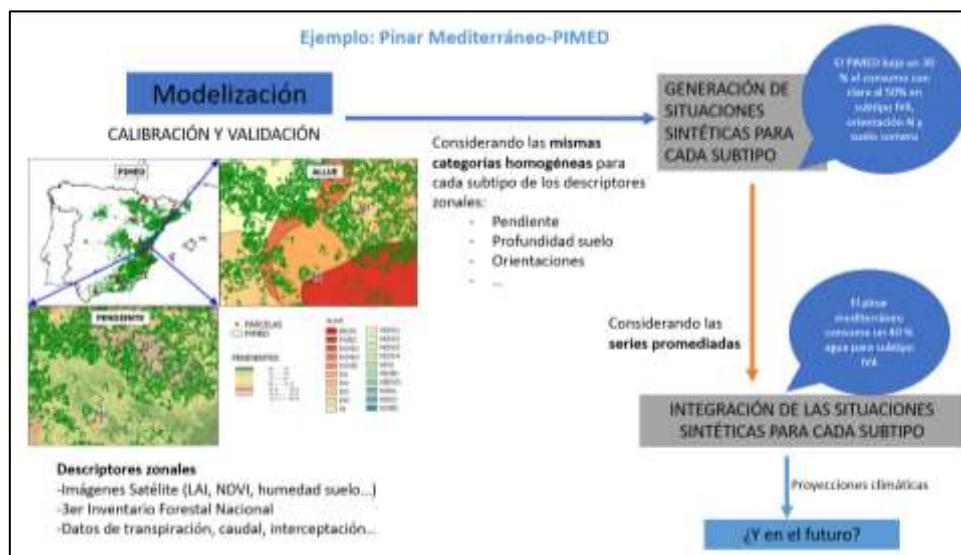


Figura 7. Flujo de trabajo para la simulación de situaciones sintéticas para pinares mediterráneos como base para la optimización de la gestión forestal según cada categoría homogénea (según suelo, clima y topografía). Para las simulaciones se utiliza un modelo basado en procesos que se calibra y valida con información empírica disponible (transpiración, caudal, etc.) y/o procedente de satélites (LAI, humedad del suelo, etc.).

4. Conclusiones: futuros pasos y resultados esperables de la Red

En el contexto actual caracterizado por la recurrencia de eventos climáticos extremos de alto impacto negativo en nuestros bosques, por un lado, y de escasa planificación forestal para su amortiguación, por otro, parece evidente que existe una urgente necesidad de integrar y homogeneizar la información disponible en nuestro país para su posterior transferencia y aplicación por parte de potenciales beneficiarios (ej. responsables técnicos de gestión y política forestal a nivel nacional y autonómico, asociaciones de propietarios forestales, empresas maderistas, etc.). Silvadapat.net es una iniciativa que pretende hacer uso de buena parte de la infraestructura científica disponible (datos procedentes de sitios experimentales, en algunos casos con series de más de treinta años) y con ello abordar el reto de la gestión forestal adaptativa desde diferentes perspectivas, pero a la vez complementarias. Silvadapat.net es una de las muchas iniciativas que vienen surgiendo en nuestro país para que se genere conocimiento práctico que permita a los gestores hacer frente a una realidad cambiante. Así, los grupos definidos dentro del marco de la Red avanzan hacia la consecución de sus objetivos enmarcados en seis grandes bloques, en los cuales se integran las perturbaciones de mayor impacto, a excepción de las plagas y enfermedades. Se espera pues que éstos generen información agregada que permita su trasposición a documentos técnicos donde se desarrolle nuevos modelos de gestión forestal para las masas más comunes en nuestro país.

5. Agradecimientos

La Red Española de Selvicultura Adaptativa al Cambio Climático (SilvAdpt.net, RED2018-102719-T financiada por MCIN/AEI /10.13039/501100011033) es un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro de las Acciones de Dinamización “Redes de Investigación” Convocatoria 2018, Programa Estatal de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+I (Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020). Los autores de esta ponencia agradecen la financiación para la citada Red. Además, los proyectos de investigación: Cehyrfo-Med (CGL2017-86839-C3-2-R) financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033/ y por FEDER Una manera de hacer Europa y RESILIENT-FORESTS (LIFE17 CCA/ES/000063) han contribuido al desarrollo de este trabajo. A su vez, el primer autor de esta contribución es beneficiario de una beca postdoctoral APOSTD financiada por la Generalitat Valencia (APOSTD/2019/111).

6. Bibliografía

ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; CHENCHOUI, H.; BACHELET, D.; McDOWELL, N.; VENNETIER, M.; ... GONZALEZ, P.; 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and Management* 259, 660-684. 10.1016/j.foreco.2009.09.001

ALLUÉ, J.L.; 1990. *Atlas Fitoclimático de España Taxonomías*, 1st ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.

AMBLAR-FRANCÉS, M. P.; CASADO CALLE, M. J.; PASTOR SAAVEDRA, M. A.; RAMOS CALZADO, P.; RODRÍGUEZ CAMINO, E.; 2017. Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. 2017

BAIGES, T.; CERVERA, T.; PALERO, N.; GONIN, P.; LARRIEU, L.; 2019. Posada a punt de l'Índex de Biodiversitat Potencial: un termòmetre per a mesurar la capacitat d'allotjar biodiversitat dels boscos (gestionats) de Catalunya. *Silvicultura* nº. 80, 26-36.

BEDIA, J.; HERRERA, S.; SAN MARTÍN, D.; KOUTSIAS, N.; GUTIÉRREZ, J. M.; 2013. Robust projections of Fire Weather Index in the Mediterranean using statistical downscaling. *Climatic change* 120, 229-247.

BLANCO, E.; CASADO; M. A.; COSTA; M., ESCRIBANO, R.; GARCÍA, M.; GÉNOVA, M.; ... & REGATO, P.; 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Planeta, Barcelona, 572 pp.

DE LA CUEVA, A. V.; QUINTANA, J. R.; CAÑELLAS, I.; 2012; Fire activity projections in the SRES A2 and B2 climatic scenarios in peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire* 21, 653-665.

DOBLAS-MIRANDA, E.; ALONSO, R.; ARNAN, X.; BERMEJO, V.; BROTONS, L.; DE LAS HERAS, J.; ... LÓPEZ-SERRANO, F. R.; 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change* 2017, 148, 42-54.

HAMPE, A.; JUMP, A. S.; 2011. Climate relicts: past, present, future. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 42, 313-333.

HERRERO Y ZAVALA EDS 2015. Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

LINDNER, M.; FITZGERALD, J. B.; ZIMMERMANN, N. E.; REYER, C.; DELZON, S.; VAN DER MAATEN, E.;..... SUCKOW, F.; 2014. Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? Journal of Environmental Management 146, 69-83.

LUCAS-BORJA, M. E.; ZEMA, D. A.; FERNÁNDEZ, C.; SORIA, R.; MIRALLES, I.; SANTANA, V. M.; ... & DELGADO-BAQUERIZO, M.; 2022. Limited contribution of post-fire eco-engineering techniques to support post-fire plant diversity. Science of The Total Environment, 152894.
MANRIQUE-ALBA, À.; BEGUERÍA, S.; CAMARERO, J. J.; 2022. Long-term effects of forest management on post-drought growth resilience: An analytical framework. Science of The Total Environment, 810, 152374.

MCDOWELL, N. G.; GROSSIORD, C.; ADAMS, H. D.; PINZÓN-NAVARRO, S.; MACKAY, D. S.; BRESHEARS, D. D.; ... & XU, C.; 2019. Mechanisms of a coniferous woodland persistence under drought and heat. Environmental Research Letters, 14(4), 045014.

METZGER, M. J.; BUNCE, R. G. H.; LEEMANS, R.; VINER, D.; 2018. Projected environmental shifts under climate change: European trends and regional impacts. Environmental Conservation 2018, 35, 64-75. 10.1017/S0376892908004529

MILLAR, C. I.; STEPHENSON, N. L.; STEPHENS, S. L.; 2017. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. Ecological Applications 17, 2145-2151. <https://doi.org/10.1890/06-1715.1>

MORIONDO, M.; GOOD, P.; DURAO, R.; BINDI, M.; GIANNAKOPOULOS, C.; CORTE-REAL, J.; 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Climate Research 31, 85-95.

NAGEL, L. M.; PALIK, B. J.; BATTAGLIA, M. A.; D'AMATO, A. W.; GULDIN, J. M.; SWANSTON, C. W.; ... & PETERSON, D. L.; 2017. Adaptive silviculture for climate change: a national experiment in manager-scientist partnerships to apply an adaptation framework. Journal of Forestry 2017, 115, 167-178.

ROSELLÓ, E.; 1997. Biogeoclimatic classification of Peninsular and Balearic Spain. 1997, Madrid, Spain.

SEIDL, R.; SPIES, T. A.; PETERSON, D. L.; STEPHENS, S. L.; HICKE, J. A.; 2016. Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. Journal of Applied Ecology 53, 120-129. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511>

SEIDL, R.; THOM, D.; KAUTZ, M.; MARTIN-BENITO, D.; PELTONIEMI, M.; VACCHIANO, G.; ... LEXER, M. J.; 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change* 7, 395. 10.1038/nclimate3303

SERRADA HIERRO, F., AROCA FERNÁNDEZ, M.J.; ROIG GÓMEZ, S.; BRAVO FERNÁNDEZ, A.; GÓMEZ SANZ, V.; 2011. Impactos, vulnerabilidad, y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Notas sobre gestión adaptativa de las masas forestales ante el cambio climático, MMARM.

SERRANO-NOTIVOLI, R.; BEGUERÍA, S.; SAZ, M. Á.; de Luis, M. Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology* 2018, 38, 4211-4224. <https://doi.org/10.1002/joc.5562>

SOTERIADES, A. D.; MURRAY-RUST, D.; TRABUCCO, A.; METZGER, M. J.; 2017. Understanding global climate change scenarios through bioclimate stratification. *Environmental Research Letters* 12, 084002.

TAGUE, C. L.; MORITZ, M.; HANAN, E.; 2019. The changing water cycle: The eco-hydrologic impacts of forest density reduction in Mediterranean (seasonally dry) regions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 6, e1350.

VAYREDA, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; GRACIA, M.; RETANA, J.; 2012. Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology* 18, 1028-1041.