



**GESTIÓN ADAPTATIVA DE LOS PINARES  
MEDITERRÁNEOS ANDALUCES  
FRENTE AL CAMBIO GLOBAL**









### Beneficiario Coordinador



### Beneficiarios asociados



### Cofinanciador



## Gestión adaptativa de los pinares mediterráneos andaluces frente al cambio global.

Proyecto LIFE ADAPTAMED (LIFE14 CCA/ES000612), acción E1.

Autores: Javier Cano-Manuel León; Rut Aspizua Cantón; José Miguel Barea Azcón; Francisco Javier Bonet García; Javier Cabello Piñar; Mariano Corzo Toscano; Yolanda Gil Jiménez; Miguel Ángel Gómez de Dios; Juan José Guerrero Álvarez; José Antonio Hódar Correa; Guyonne Janss; Pedro Jiménez; Alexandro B. Leverkus; José Miguel Muñoz Díaz; Antonio Muñoz Risueño; Rafael Navarro Cerrillo; Javier Navarro Gómez-Menor; Francisco Bruno Navarro Reyes; Antonio Jesús Pérez Luque; María José Pérez-Palazón; Rafael Pimentel; María José Polo; Luis Santamaría Galdón; María Suárez Muñoz; Juan José Vales Bravo; Regino Zamora Rodríguez.

Cómo citar: Cano-Manuel, J.; Aspizua, R.; Barea-Azcón, J. M.; Bonet, F. J.; Cabello, J.; Corzo, M.; Gil, Y.; Gómez, M. A.; Guerrero, J. J.; Hódar, J. A.; Janss, G.; Jiménez, P.; Leverkus, A.; Muñoz, J. M.; Muñoz, A.; Navarro, R.; Navarro, J.; Navarro, F. B.; Pérez-Luque, A. J.; Pérez-Palazón, M. J.; Pimentel, R.; Polo, M. J.; Santamaría, L.; Suárez, M.; Vales, J. J.; Zamora, R. (2024). Gestión adaptativa de los pinares mediterráneos andaluces frente al cambio global. Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (Junta de Andalucía). 128 pp.

Créditos fotográficos: F. B. Navarro Reyes: 12, 16, 18 (abajo), 19 (todas), 32, 39, 40, 60, 92-93, 104, 110; R. Aspizua Cantón: 18 (arriba), 22, 27 (a y b), 69, 74 (izq.), 88, 97, 103, 107; J. M. Barea Azcón: 23, 24, 27(c), 49, 112, 126-127; J. A. Hódar Correa: 56; R. Navarro Cerrillo: 74 (dcha. abajo); E. Ballesteros Duperón: 74 (dcha. Arriba); J. Cabello Piñar: 98; J. Castro Gutiérrez: 89; Banco de Imágenes, EBD-CSIC: 90, 95, 102; Noceda: 64, 99; Creative Commons: 35, 38, 63.

URI: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/102900>

D.L.: SE 3029-2024

Diseño gráfico y maquetación: Creados Visual S.L. (Granada)

Impresión: Solprint S. L. (Málaga)

GESTIÓN ADAPTATIVA DE LOS PINARES  
MEDITERRÁNEOS ANDALUCES  
FRENTE AL CAMBIO GLOBAL

# ÍNDICE

<b>Prólogo</b>	<b>8</b>
<hr/>	
<b>1. Introducción</b>	<b>10</b>
<hr/>	
<b>2. Caracterización de los principales pinares presentes en Andalucía</b>	<b>13</b>
<hr/>	
<b>3. Estructura y funcionamiento de los pinares andaluces</b>	<b>25</b>
3.1. Estructura, funcionamiento y problemática actual	26
3.2. Herramientas para caracterizar la estructura y funcionamiento de los pinares	30
<hr/>	
<b>4. Provisión de servicios ecosistémicos de los pinares andaluces</b>	<b>33</b>
4.1 Servicios de aprovisionamiento	34
4.2 Servicios de regulación	35
4.3 Servicios culturales	37
<hr/>	
<b>5. Vulnerabilidad de los pinares andaluces al cambio global</b>	<b>41</b>
5.1. Cambios de usos del suelo	42
5.2. Cambio climático	45
Tendencia en la precipitación y en la temperatura en los Espacios Protegidos incluidos en Life Adaptamed	45
Distribución potencial de las especies de pino ante un escenario de cambio climático	49
5.3. Plagas, enfermedades y otros agentes que alteran la estabilidad de los pinares	56
5.4. Incendios	58
<hr/>	

---

**6. Gestión para la conservación y la adaptación** **61**

6.1. Selvicultura de conservación vs. selvicultura adaptativa	64
6.2. Principios para una selvicultura adaptativa de pinares andaluces bajo riesgo climático	68
6.3. Ejemplos de enfoque de selvicultura adaptativa sobre el terreno	72
La dendrocronología como herramienta	72
Red de Parcelas de selvicultura adaptativa de pinares orientales	74
Selvicultura orientada al secuestro de carbono	75
Ecohidrología en sistemas forestales: el caso de estudio de Sierra Nevada	77
Selvicultura orientada a la biodiversidad	80
Naturalización de pinares en contextos paisajísticos complejos: el caso de Sierra Nevada	82
diveRpine: Diversificación de pinares atendiendo a su estructura interna, el paisaje y los dispersores	84
Restauración ecológica tras una perturbación: aprendizaje sobre la gestión post-incendio 10 años después del incendio de Lanjarón (Granada)	86

---

**7. Actuaciones de gestión de los pinares mediterráneos dentro del proyecto LIFE-ADAPTAMED** **91**

7.1. Actuaciones sobre pinares de pino piñonero en P. N. Doñana	94
7.2. Actuaciones en P. N. Sierra Nevada sobre pinos silvestre, salgareño, resinero y carrasco	96
7.3. Actuaciones sobre un pinar-espartal de pino carrasco en el P. N. de Cabo de Gata-Níjar	98
7.4. Seguimiento para la evaluación de efectividad de las actuaciones	100

---

**8. Lecciones aprendidas del proyecto LIFE y recomendaciones de gestión** **105**

8.1. Aprendiendo del proceso: recomendaciones técnicas	106
8.2. Aprendiendo del proceso: hacia una gobernanza adaptativa	109

---

**9. Referencias** **113**

---

**Glosario** **120**

---

# PRÓLOGO

*Pinos y pinares* han sido un referente de primer orden en la tradición forestal española, existiendo un profundo conocimiento técnico y científico sobre los mismos. También en las comunidades rurales mediterráneas existe un ancestral conocimiento sobre este tipo de masas arboladas debido a que han constituido una fuente de empleo, de aprovisionamiento de productos y de sustento para la ganadería.

Recordamos que las primeras ordenaciones de montes arbolados en España se realizaron hace más de un siglo, en buena parte sobre masas de este tipo, continuando vigentes muchas de ellas con las necesarias revisiones y actualizaciones. Estos montes han abastecido históricamente a sus propietarios de resinas o mieras, piñas, leñas y maderas, han servido como soporte territorial para la ganadería extensiva y han sido claves en la regulación del ciclo hidrológico y en la lucha contra la desertificación.

También resulta preciso situar la gestión de los pinares en el contexto histórico, temporal y económico en la que se realizó, recordando, desde la intensa destrucción de masas forestales (muchas de ellas pinares naturales) que tuvo lugar en los montes en la primera mitad del siglo XIX, hasta las extensas repoblaciones que tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo XX.

Como sociedad formamos parte de la historia y hemos heredado un patrimonio natural inmensamente valioso. Éste incluye miles de hectáreas de pinares, de diferentes especies, unas bien conservadas y otras no, muchas de ellas pendientes de una silvicultura que las mejore y otras en claro declive por causas climáticas y su derivadas: incendios, plagas y sequías. Todas ellas requieren de algún tipo de gestión, y a ellas se dedica este manual en el que se incorporan nuevos conceptos y criterios derivados del actual escenario climático, en el que los pinares están sometidos a nuevas vulnerabilidades y riesgos.

Life Adaptamed ha trabajado durante más de 6 años en diferentes masas de pinar, inventariando y evaluando servicios ecosistémicos, realizando actuaciones piloto y monitorizando las respuestas con el objetivo de buscar las mejores soluciones de gestión en el actual escenario de cambio global. Este manual recoge los resultados que han podido obtenerse en su plazo de ejecución, existiendo el compromiso firme y los recursos necesarios para continuar con esta labor.

Queremos destacar también que los resultados de este trabajo derivan del esfuerzo que han realizado muchos profesionales comprometidos con la conservación, la investigación y la gestión forestal. Life Adaptamed ha coordinado el trabajo de un selecto grupo de socios que han sido capaces de aunar fuerzas y actuar coordinadamente en una labor decisiva para la sociedad, estableciendo unos modelos sostenibles y coherentes que son claves para la gestión adaptativa del futuro.

Los espacios naturales de Andalucía integrantes del proyecto Life Adaptamed -Doñana, Cabo de Gata y Sierra Nevada- han servido para el desarrollo de nuevas estrategias, siendo pioneros en la labor de promoción y experimentación. Todo ello les honra, y su máximo rango jurídico de protección y conservación de la naturaleza exige, sin duda, este esfuerzo. Nuevas soluciones son necesarias en nuevos tiempos donde las condiciones ambientales han cambiado radicalmente y donde las respuestas esperables de los ecosistemas también cambian.

**Javier Cano-Manuel León**  
Director de Life Adaptamed  
Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente

# INTRODUCCIÓN

Los pinares mediterráneos, el cambio global y el proyecto Life Adaptamed constituyen el marco del presente manual con el que queremos resumir y difundir una dilatada experiencia, una demostración de cómo unas medidas de gestión del medio natural pueden mejorar la calidad de los pinares y garantizar un futuro de estos ecosistemas, a menudo denostados y, sin embargo, enormemente necesarios y beneficiosos para nuestra sociedad y para generaciones futuras.

Este manual introduce un conjunto de conceptos, criterios y objetivos que, si bien no son nuevos, sí consideramos que deben quedar unidos inexorablemente en la planificación y en la gestión, actual y futura, de los pinares mediterráneos.

Para ello se han analizado estos ecosistemas desde dentro, desde el complejo de redes internas que sustentan su funcionalidad y que se traducen en servicios, y éstos, a su vez, en beneficios para la sociedad. Se ha hecho un esfuerzo demostrativo, transferible, aunando la labor de científicos, analistas y técnicos, intentando cerrar el ciclo ciencia-gestión para poner el conocimiento y los resultados directamente al servicio de la sociedad de manera sencilla y rigurosa.

En Andalucía existen más de 600.000 hectáreas de pinares dentro de las 2,5 millones de hectáreas arboladas de la Comunidad<sup>1</sup>, siendo varios cientos de miles más dentro del ámbito mediterráneo. Tanto por su magnitud como por su calidad, son ecosistemas esenciales en la acción climática global. Se trata de ecosistemas naturales o artificiales que, por lo general, necesitan mejoras y tratamientos selvícolas para seguir proveyendo servicios ambientales en un escenario incierto modelado por el cambio global.

¿Cómo conseguir que los pinares se adapten y puedan proporcionar servicios ambientales con menores precipitaciones, mayores temperaturas, mayor incidencia de plagas y mayor riesgo de sufrir incendios? ¿Cómo obtener masas futuras más resilientes y menos vulnerables frente a estos impactos? ¿Cómo garantizar la protección del suelo frente a lluvias torrenciales y para que continúe trabajando en favor de la biodiversidad, el secuestro de CO<sub>2</sub> o el suministro de agua en un futuro?

En el marco del proyecto Life Adaptamed se han desarrollado acciones demostrativas de gestión en pinares de tres espacios protegidos de Andalucía: el Espacio Natural de Doñana, el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar y el Espacio Natural de Sierra Nevada. Las acciones se han llevado a cabo sobre masas del

género *Pinus*; de *Pinus sylvestris*, *P. pinaster*, *P. nigra* y *P. halepensis* en Sierra Nevada, *P. pinea* en Doñana y *P. halepensis* en Cabo de Gata-Níjar.

Las situaciones son diversas; en el caso de Sierra Nevada, los pinares están sometidos a un estrés hídrico cada vez más acusado, que unido a la escasez de suelo y a la falta de cuidados selvícolas, los hace sumamente vulnerables, existiendo episodios de decaimiento en varias localidades. En Doñana, los incendios, unidos a la baja diversidad provocada por el exceso de herbivoría, constituyen graves amenazas para la provisión futura de servicios ambientales. En Cabo de Gata, el pinar de pino carrasco favorece “islas de biodiversidad” en ambientes marcados por una notable aridez, resultando clave para la preservación de servicios de polinización y como reservorio de biodiversidad. En todos los tipos de masas presentes se han llevado a cabo actuaciones selvícolas orientadas a mejorar su resiliencia en un escenario donde los impactos del cambio global son manifiestos y lo serán más aún en un futuro.

Life Adaptamed actúa dentro de un marco conceptual de una gestión activa y adaptativa, donde las evidencias muestran que la no gestión no es una vía elegible. La selvicultura constituye un elemento clave que determina el fortalecimiento de la funcionalidad del ecosistema forestal y sirve para incrementar su resiliencia, adaptación, aumento de la diversidad, y por tanto, para la disminución de su vulnerabilidad frente los impactos provocados por el cambio global.

En este manual iremos desgranando todos estos elementos, conoceremos el origen y la situación actual en que se encuentran las masas de pinar de los tres espacios naturales de actuación, valoraremos las perturbaciones y los riesgos, ensayaremos las acciones y presentaremos los resultados del seguimiento. Todo esto lo traduciremos en una propuesta y unos métodos para garantizar el futuro en la provisión de servicios ecosistémicos y beneficios para la sociedad, que es el objetivo final del proyecto Life Adaptamed.

Aunque la información de este manual se basa en trabajos que tienen a Sierra Nevada, Doñana y Cabo de Gata como ámbito de estudio, dada la amplia casuística de situaciones encontradas, hemos recopilado información y otras experiencias externas con objeto de que las conclusiones obtenidas puedan hacerse extensivas al conjunto del territorio andaluz y a buena parte del ámbito mediterráneo.



# 02

**CARACTERIZACIÓN DE LOS  
PRINCIPALES PINARES,  
PRESENTES EN ANDALUCÍA**

Los pinos forman, y han formado, parte de la vegetación natural de la Península Ibérica (y también de Canarias y Baleares) y esto debería estar ya asumido por una sociedad avanzada que progresa sobre la base del conocimiento científico. Existen numerosas evidencias arqueológicas, históricas y biológicas que así lo demuestran<sup>2</sup> pese a haber sido denostados durante décadas, a veces con argumentos carentes de rigor, por su empleo masivo en repoblaciones forestales, con mayor profusión durante el franquismo<sup>2</sup>. Se estima que durante el periodo 1877-2006 se repoblaron en España más de seis millones de hectáreas, la mayoría con pinos autóctonos, en terrenos con diferentes niveles de degradación y, en numerosas ocasiones, en áreas donde potencialmente debería haber otro tipo de bosques. El que se optara por un uso mayoritario de pinos se achaca a la facilidad de su cultivo en vivero, la alta rusticidad, la facilidad de establecimiento y el éxito en el arraigo, lo cual derivó en su generalización como solución restauradora<sup>3</sup>.

El Proyecto *Flora iberica* reconoce seis especies de pinos autóctonos en la península<sup>4</sup>, a las que hay que añadir una séptima, *Pinus canariensis* en las islas Canarias. Cinco de las seis especies peninsulares están presentes en Andalucía: *Pinus halepensis* (pino carrasco), *Pinus pinea* (pino piñonero), *Pinus sylvestris* (pino silvestre o albar), *Pinus pinaster* (pino resinero o marítimo) y *Pinus nigra subsp. salzmanii* (pino salgareño o laricio).

Debido a la transformación y destrucción de los ecosistemas de la Península Ibérica durante siglos, el área de distribución natural exacta de muchas especies (no solo de los pinos) es difícil de conocer con seguridad, pudiendo haber desaparecido poblaciones enteras en áreas específicas. Así mismo, es posible que hayamos perdido mucha información acerca de la estructura y la composición de muchos bosques y comunidades vegetales, que en numerosas ocasiones fueron probablemente sistemas mixtos. Prácticamente no existen en España bosques o formaciones vegetales primigenias (bosques primarios), o lo que actualmente se denomina ecosistemas de referencia, debido a la intensa intervención humana desde la prehistoria<sup>5</sup>. Por ello, las reconstrucciones de la distribución natural de las especies se basan en restos secundarios de presencia de las especies (lo cual no quiere decir que no sean antiguos y de un gran valor), apoyadas en datos paleobiológicos, arqueológicos, históricos, edafoclimáticos y, más recientemente, en modelos de distribución espacial basados en datos de autoecología de las especies.

En el caso de los pinos autóctonos, su área natural se ha visto además ampliada, embebida o desdibujada por su utilización para repoblar espacios agrícolas o forestales con fines de protección del suelo y/o fines productivos (madera,

piñón, resina, etc.). Todo ello dificulta aún más poder reconocer las poblaciones naturales, lo cual es de especial importancia a la hora de establecer los objetivos de gestión de los pinares.

El **pino piñonero** o pino doncel es uno de los más reconocibles. Los árboles adultos presentan una copa aparasolada, densa, y sus semillas tienen más de un centímetro de longitud. Son muy apreciadas desde el punto de vista culinario. Es originario del Sur de Europa y Oeste de Asia, y vegeta sobre suelos arenosos y en general de textura suelta, en zonas bajas y templadas (0-1.000 m s. n. m.) como llanuras, campiñas y sistemas dunares (pisos bioclimáticos termo- y mesomediterráneo). Queda ampliamente distribuido por el occidente andaluz, especialmente próximo a la costa, como en Doñana, acantilados de Barbate, y algunas zonas de Sierra Morena. Convive con encinas, alcornoques, acebuches, lentiscos y palmitos. En el litoral comparte hábitat con enebros y sabinas costeros, y más hacia el interior, en Sierra Morena, incluso con madroños, durillos, brezos, y jaras. El **pino carrasco** se caracteriza por presentar ramillas cenicientas, piñas con un claro pedúnculo, las cuales persisten durante muchos años secas en el árbol. Gusta de laderas soleadas, preferentemente sobre suelos calizos y dolomíticos, en los pisos bioclimáticos termo- y mesomediterráneo. Es originario de la región Mediterránea y se ha utilizado de forma generalizada para la repoblación de zonas secas y semiáridas por su capacidad de resistencia al estrés hídrico (la mayor de todos los pinos autóctonos peninsulares). Su área natural en la Península Ibérica es amplia por las zonas calizas del Sureste y Levante, apareciendo en zonas costeras, depresiones, altiplanos interiores y pies de monte de muchas sierras, especialmente en espacios rocosos o arenales dolomíticos, donde disminuye la competencia con la encina, con la que llega a formar bosques mixtos en numerosas ocasiones. Su área potencial en Andalucía es bastante más extensa que el área actualmente ocupada<sup>6</sup>. Por otra parte, se ha repoblado con esta especie mucha superficie en la que potencialmente debería existir otro tipo de bosques. Además de la encina, aparecen junto al pino carrasco especies como la coscoja, el enebro de la miera, el espino negro, el esparto, el romero, y la retama, y sobre dolomías comparte espacio con tomillares ricos en especies endémicas.

El resto de pinos presentes en Andalucía de porte no aparasolado, muestran ramas de color amarillento o castaño (no cenicientas), con piñas sin pedúnculo, que caen al suelo tras la dispersión de las semillas (no persisten en el árbol por largo tiempo).

De entre ellos, el **pino resinero**, también llamado pino marítimo, negral, o como históricamente se ha nombrado en algunas zonas de Andalucía, como la Sierra

de Baza, pino cortezúo o pino borde (hecho corroborado por diferentes topónimos locales y referencias históricas), se diferencia por presentar yemas no resinosas, hojas rígidas de más de 10 cm, y piñas grandes (de 8 hasta 22 cm). Es originario del Oeste de la región Mediterránea (Sur de Francia, España y Portugal), presentando en la Península Ibérica su principal zona de especiación. Tiene preferencia por suelos descalcificados, silíceos, arenosos, también por dolomías cristalinas y peridotitas, y puede habitar desde el nivel del mar hasta los 1.700 m (pisos bioclimáticos termo-, meso- y supramediterráneo)<sup>7</sup>. El cortejo florístico puede ser muy variado en función del piso bioclimático y la litología sobre la que se asienta. Presenta mayor requerimiento hídrico que el pino carrasco, con el que convive en numerosas ocasiones, así como con la encina. En los claros es frecuente la presencia de majuelos, brezos y escobones.

Los dos siguientes pinos presentan yemas resinosas, hojas en general menores de 10 cm o de hasta 16 cm, en este último caso flexibles, con piñas pequeñas, de 2 a 8 cm.

El **pino laricio o salgareño**, también llamado históricamente pino blanco o maderero, tiene hojas flexibles de 8 a 16 cm, con corteza de tronco y ramas blanco-plateadas. Habita en suelos pedregosos, margosos, calizos, dolomíticos, y más escasamente en sustratos silíceos. Es un pino de montaña mediterránea, de gran longevidad, capaz de resistir el estrés estival y los fríos invernales de los pisos bioclimáticos supra- y oromediterráneo, aunque puede descender al mesomediterráneo en roquedos y suelos esqueléticos, pedregosos o con escasa



Foto 1. Aspecto del dosel arbóreo de un pinar mixto.

capacidad de retención de agua. La subsp. *salzmannii* se distribuye por las montañas del Sur de Francia, y del centro y mitad Este de la Península Ibérica<sup>8</sup>. En el piso oromediterráneo forma comunidades con la sabina y el enebro rastrero, y en Sierra Nevada y Sierra de Baza se mezcla con el pino silvestre, aunque domina en las solanas y el silvestre, de mayores exigencias hídricas, en las umbrías. En el piso supramediterráneo aparece acompañado de la sabina mora y puede formar bosques mixtos con encinas, quejigos, sabinas albares, arces, mostajos, tejos, boj, etc. También puede verse acompañado de arbustos como gillomos, durillos, agracejos y majuelos.

El último de los pinos autóctonos de Andalucía es el **pino silvestre** o rojo, también llamado albar, real, o pino de Valsaín. Se diferencia del pino laricio por poseer hojas de 2 a 8 cm, rígidas, y corteza de parte superior del tronco color rojizo-anaranjado. Se trata de un pino de origen Eurosiberiano (Asia, Norte y Centro de Europa), que presenta poblaciones naturales relictas desde la última glaciación en las montañas de las penínsulas Ibérica, Itálica y Balcánica, así como en Turquía. En Andalucía ha persistido de forma natural, hasta donde alcanza nuestro conocimiento actual, en el piso bioclimático oromediterráneo (parcialmente en el supra-) de Sierra Nevada y Sierra de Baza sobre sustrato calizo, calizo-dolomítico y filitas, donde algunos autores reconocen la variedad *nevadensis*. Puede aparecer formando masas puras o mezclado con otras especies de montaña como roble, serbal o arce. En el sotobosque con frecuencia aparecen sabinas y enebros rastreros, madreselvas arbóreas, rosales silvestres, majuelos, tejos, arces, mostajos, etc. Existe una gran controversia aún no resuelta sobre si esta especie ocupó de forma natural el piso oromediterráneo silíceo de Sierra Nevada y Sierra de Filabres durante los últimos milenios, donde hoy en día es muy abundante por repoblaciones recientes.

Finalmente, de forma local existen pinos que no son autóctonos de Andalucía, pero que aparecen formando parte de repoblaciones forestales y que se utilizaron por causas diversas. Tal es el caso de *Pinus ponderosa*, *Pinus canariensis*, o *Pinus uncinata*. Merece mención especial éste último, denominado pino negro, que se distribuye naturalmente por los Alpes y Pirineos, llegando residualmente al Sistema Ibérico. Especialmente adaptado a las condiciones extremas de la alta montaña, fue utilizado para repoblar amplias zonas de Sierra Nevada con cotas superiores a los 2.000 m, donde se ha aclimatado aparentemente bien dadas las condiciones.

La Figura 1 muestra la superficie ocupada por las principales especies de pino presentes en Andalucía, junto con una breve descripción de sus principales características diferenciadoras y del hábitat que ocupan.

## PIÑO PIÑONERO

*Pinus pinea*

180.783 ha en Andalucía (0-1.000 m s.n.m.).

Copa aparasolada y densa.  
Piñón comestible.

Es el más térmico de los cinco, aparece en zonas costeras o continentales de baja altitud.

Suelos arenosos y de textura suelta en zonas bajas y templadas.



## PIÑO SALGAREÑO

*Pinus nigra*

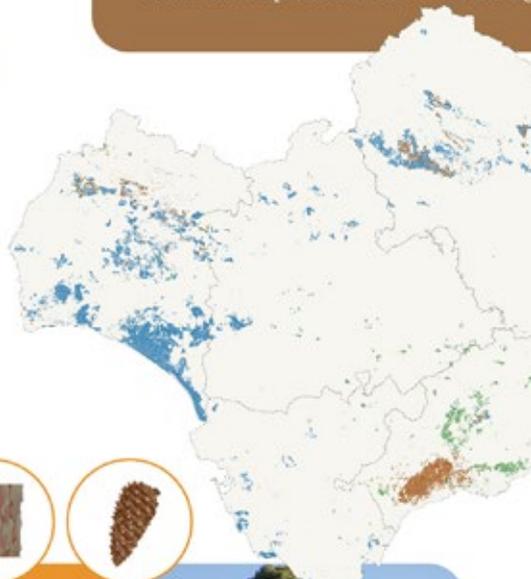


10.339 ha en Andalucía (800-1.900 m s.n.m.).

Corteza de tronco y ramas blanco-plateada.

Pino montano capaz de convivir con el pino carrasco.

Suelos pedregosos, margosos, calizos, de alta productividad, pero más escasamente en sustratos silíceos. Mayor longevidad, es capaz de resistir el estrés hídrico y los fríos invernales y los suelos esqueléticos con escasa capacidad de retención de agua.



## PIÑO RESINERO

*Pinus pinaster*



116.016 ha en Andalucía (0-1.700 m s.n.m.)

Acículas rígidas (más de 10 cm) y piñas grandes (8-22 cm).

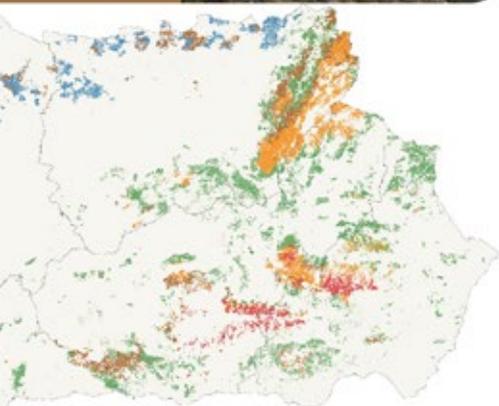
Preferencia por suelos descalcificados, silíceos, arenosos, también en dolomías cristalinas y peridotitas.

Convive con frecuencia con el pino carrasco y la encina en pinares abiertos.





(m.)  
adadas.  
pino silvestre.  
lomíticos, y  
De gran  
estival, los  
s, pedregosos o  
qua.



## PINO CARRASCO

*Pinus halepensis*

208.612 ha en Andalucía  
(0-1.400 m s.n.m.)

Ramillas cenicientas, piñas con un claro pedúnculo que persisten durante muchos años secas en el árbol.

Laderas soleadas, preferentemente sobre suelos calizos y dolomíticos.

Bien adaptado a periodos secos prolongados y a temperaturas elevadas.



## PINO SILVESTRE O ALBAR

*Pinus sylvestris*



120.628 ha en Andalucía (habitualmente 1.000-2.000 m s.n.m.)

Acículas cortas verde-glauco, copa cónica, corteza de ramas y parte superior del tronco color anaranjado.

Distribución eurosiberiana con un marcado carácter continental. Sustrato calizo, calizo-dolomítico y filitas.

Su óptimo son las zonas de montaña o continentales más frías y con menor estrés hídrico.



Figura 1. Distribución de los pinares de pino albar, pino resinero, pino salgareño, pino carrasco y pino piñonero en Andalucía. Se incluye una descripción de las especies florísticas acompañantes más habituales. Superficie ocupada en Andalucía en 2003<sup>1</sup>. Detalles de corteza y piñas adaptados de Ordoñez, J. L. (CC-BY-NC 4.0.) CREA 2019

### Fauna de los pinares andaluces

Los pinares en Andalucía constituyen ambientes muy diversos que abarcan una panoplia amplísima de situaciones ecológicas. Las comunidades faunísticas presentes son igualmente diversas y su composición y estructura depende principalmente de factores como la situación geográfica, las especies de pino dominantes, la estructura de masa, los usos pretéritos del enclave, la litología, el tipo y cobertura del matorral acompañante y los ecosistemas que la circundan.

Los vertebrados son un grupo minoritario aunque bien conocido en comparación con los invertebrados. Dentro de los vertebrados, son las aves el grupo que aporta una mayor diversidad.

1. El grupo predominante de **aves** presentes en los pinares son los passeriformes, a los que además hay que atribuir importantes funciones ecológicas de mantenimiento de equilibrios biológicos y de dispersión de semillas. En términos de diversidad y también de densidad, los páridos son uno de los grupos más relevantes. Entre ellos destacan el carbonero común, el garrapinos, el pinzón vulgar y el herrerillo, por ser, probablemente, las especies más abundantes. También es considerable la presencia de herrerillo capuchino y agateador, mientras que en los pinares más maduros aparecen nutridas poblaciones de trepador azul. Otros passeriformes de enorme importancia en estos medios son los pícidos, que están representados en los pinares andaluces por el pito real, el pico picapinos y el torcecuellos (este último con una representación en pinares claramente inferior a la de las otras dos especies) o los córvidos con el arrendajo, el rabilargo, la urraca y la corneja negra como las especies con mayor dependencia de los medios forestales. El papel que juegan las poblaciones de arrendajo en la naturalización de pinares es de suma importancia<sup>9</sup>, probablemente mucho mayor que la repercusión que pueden tener los micromamíferos a la hora de movilizar bellotas de encina. En este sentido, un buen número de especies, entre las que destacan el petirrojo y prácticamente todas las curruacas que utilizan estos medios, también contribuyen a movilizar las semillas que contienen multitud de frutos carnosos<sup>10</sup>.

Las aves rapaces también presentan una importante contribución al mantenimiento de las funciones del ecosistema. En los pinares andaluces nidifican hasta once especies de rapaces accipitriformes y cuatro strigiformes. Entre las primeras destacan el azor, el gavián, el ratonero y el águila calzada, por poner algunos ejemplos de las especies más comunes y mejor adaptadas al entorno forestal.

2. La fauna de **mamíferos** de los pinares andaluces comprende una buena proporción de las especies citadas en Andalucía, si bien pocas de ellas pueden considerarse exclusivamente asociadas a estos ambientes. De entre los ocho mamíferos carnívoros destacan el zorro, el tejón y la garduña por su papel extraordinariamente importante en los procesos de dispersión de semillas y de movilización de propágulos desde la periferia de las masas de pinar al interior de las mismas<sup>11</sup>. Sin embargo, en los pinares también es posible localizar poblaciones del cada vez más escaso gato montés<sup>12</sup> o incluso del lince ibérico. No obstante, parte de la población de lince de Sierra Morena se asienta sobre repoblaciones de pino piñonero y, en menor medida, de pino resinero<sup>13</sup>. El núcleo de lince ibérico de Doñana y su entorno también utiliza frecuentemente pinares de pino piñonero.

El papel de los artiodáctilos también es de enorme importancia a la hora de modelar el paisaje. En los pinares andaluces se dan cita siete especies, siendo el ciervo y el jabalí los mejor distribuidos.

La clase Mammalia queda representada también por otras especies en los pinares andaluces entre las que cabe destacar alrededor de diez especies de roedores, dos lagomorfos, cuatro especies incluidas en el orden Eulipotyphla y una rica comunidad de quirópteros forestales.

3. Ninguna especie de **reptil** presenta una asociación estrecha o exclusiva a estos medios forestales, aunque especies como el lagarto ocelado, las lagartijas común y colilarga y la culebra bastarda no son infrecuentes en los pinares mejor conservados o incluso en aquellos que ya empiezan a presentar cierto grado de madurez. Una mención aparte merece la endémica lagartija de Valverde, que aparece en la extensa mancha de pino laricio que se extiende entre el noroeste de Andalucía y el suroeste de Castilla la Mancha. El camaleón, aunque presenta cierta valencia ecológica, ha de ser considerado un habitante habitual de determinados pinares de pino piñonero y pino carrasco situados en entornos litorales de las costas atlánticas y mediterráneas de Andalucía.

4. La comunidad de **anfibios** presentes en los pinares andaluces ronda las siete a diez especies, en función del criterio empleado. Destacamos las poblaciones de salamandra (subespecies morenica y longirostris) y del sapo partero bético por lo restringido de sus áreas de distribución, su carácter endémico y su presencia en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas (ambas especies Vulnerables). En el caso de la subespecie morenica de la salamandra, cabe destacar las poblaciones del núcleo de Cazorla, sierras circundantes y todo Sierra Morena, donde ocupan puntos de agua que habitualmente están en el ámbito de

pinares de pino laricio. El sapo partero bético es una especie endémica del su-  
deste ibérico cuya área de distribución altitudinal se encuentra frecuentemente  
ocupada por pinares de repoblación o naturales.

5. Por último, la Comunidad de **invertebrados** es el grupo mayoritario en cuan-  
to a diversidad en los pinares andaluces. En general, los invertebrados repre-  
sentan más del 98% de las especies animales descritas en la Península Ibérica y  
en la Cuenca Mediterránea<sup>14</sup>. Sin embargo, todavía existe un profundo descono-  
cimiento sobre la verdadera dimensión de su diversidad (se estima que queda  
pendiente de describir un 44% de las especies de insectos del Planeta<sup>15</sup>. Estas  
carencias en cuanto a conocimientos esenciales sobre el número de especies  
presentes se hacen especialmente acuciantes en entornos megadiversos como  
toda la cuenca mediterránea<sup>16</sup> o, particularmente, los ecosistemas forestales del  
sur de la Península Ibérica, y evidencian también el importante déficit de in-  
formación relativo a las funciones que cumplen en los ecosistemas forestales.  
La mayor contribución a la biodiversidad en general, y a la biodiversidad de  
invertebrados en particular, la constituyen los insectos. Dentro de este grupo,  
se encuentran numerosos órdenes, de entre los cuales, indiscutiblemente, los  
escarabajos (Coleoptera) son los que aportan un mayor número de especies.



Foto 2. Si la densidad no es excesiva y la estructura es suficientemente heterogénea, con bosquetes  
de diferente tamaño, los pinares pueden contener una diversidad vegetal relativamente alta.



Foto 3. Los pinares pueden albergar una gran diversidad animal, tanto de vertebrados como de invertebrados. Las mariposas diurnas y otros insectos responden con rapidez a los procesos de naturalización de las plantaciones de pino. En este caso, la mariposa *Hipparchia hermione* es una de las especies que suele aparecer en ambientes forestales relativamente heterogéneos.

En cuanto a los lepidópteros, la mayor contribución viene desde las familias que tradicionalmente se han adscrito a los Heteróceros (mariposas nocturnas). El importante papel de este grupo de insectos como polinizadores está cada vez más claro<sup>17</sup>. Sin embargo, la fauna de mariposas diurnas sí puede considerarse como bien conocida. Los medios más cerrados son indudablemente más pobres en cuanto a especies se refiere, pero los ecosistemas abiertos de media montaña con ambientes en mosaico (matorral, pastizales, bosque) pueden ser realmente diversos. En estos ambientes habitan especies protegidas como *Euphydryas aurinia* (Directiva Hábitat), *Agrodiaetus violetae* (Catálogo Andaluz) o *Plebejus hespericus* (Listado de Especies en Régimen de Especial Protección). También es interesante mencionar la presencia de *Arethusana boabdil*, un endemismo dependiente de la gramínea *Helictotrichon filifolium*, sobre la que se alimentan sus orugas. Entre las especies más afines a estos medios forestales están los ninfálicos *Hipparchia ermione*, *Hipparchia semele*, *Brintesia circe* o *Chazara briseis*.



# 03

## ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PINARES ANDALUCES

## 3.1. ESTRUCTURA, FUNCIONAMIENTO Y PROBLEMÁTICA ACTUAL

Los pinares mediterráneos andaluces agrupan un diverso elenco de masas forestales caracterizadas por una variada representación de especies de pinos, que tienen un origen tanto natural como artificial, y que presentan una gran variabilidad en función de las condiciones locales de suelo, altitud, insolación o precipitación.

Dentro de este grupo, aparecen los pinares de repoblación, que constituyen masas artificiales que se encuentran en diferentes estadios de integración ecológica y se caracterizan por una elevada homogeneidad debido a su coetaneidad y distribución regular<sup>18</sup>. Sus estructuras, en muchos casos, resultan bastante homogéneas por haber carecido de una selvicultura adecuada en edades tempranas (clareos y primeras claras) y están definidas por una distribución de diámetros con un número limitado de clases diamétricas, que configuran masas regulares con un elevado grado de ocupación del espacio. Esto es, montes con densidades elevadas de arbolado, portes esbeltos con relaciones altura-diámetro elevadas, con un desarrollo insuficiente de la copa, o incluso copas trabadas. Masas de pinares coetáneas y regulares son sinónimo de baja diversidad estructural, a menudo sin sotobosque o con un sotobosque escaso y poco diverso. La baja biodiversidad condiciona la funcionalidad del ecosistema, su capacidad de adaptación, incrementando su vulnerabilidad.

El análisis estructural inicial de una masa de pinar requiere de inventario y de un estudio específico enfocado a establecer aquellos parámetros con los que caracterizarla. Esencialmente es la distribución diamétrica el parámetro que nos permite establecer las clases diamétricas como elementos básicos para conocer su estructura. La Figura 2 muestra la distribución de pies por clase diamétrica para tres masas de diferente estructura. Conociendo otros parámetros como la distribución de alturas, la edad o la densidad, se puede caracterizar adecuadamente la estructura de los pinares y sus modelos de crecimiento.

Concretamente, los pinares que han sido tratados en el marco del proyecto Life Adaptamed corresponden a los tipos de masas referidos, masas coetáneas derivadas de su origen artificial. En este tipo de pinares la estructura condiciona definitivamente su biodiversidad, siendo un indicador estratégico para evaluar la provisión de servicios ecosistémicos y su evolución. Actuando y modificando la estructura de estos pinares podremos influir decisivamente en la mejora de servicios ecosistémicos. El fomento de cambios en la estructura de las masas

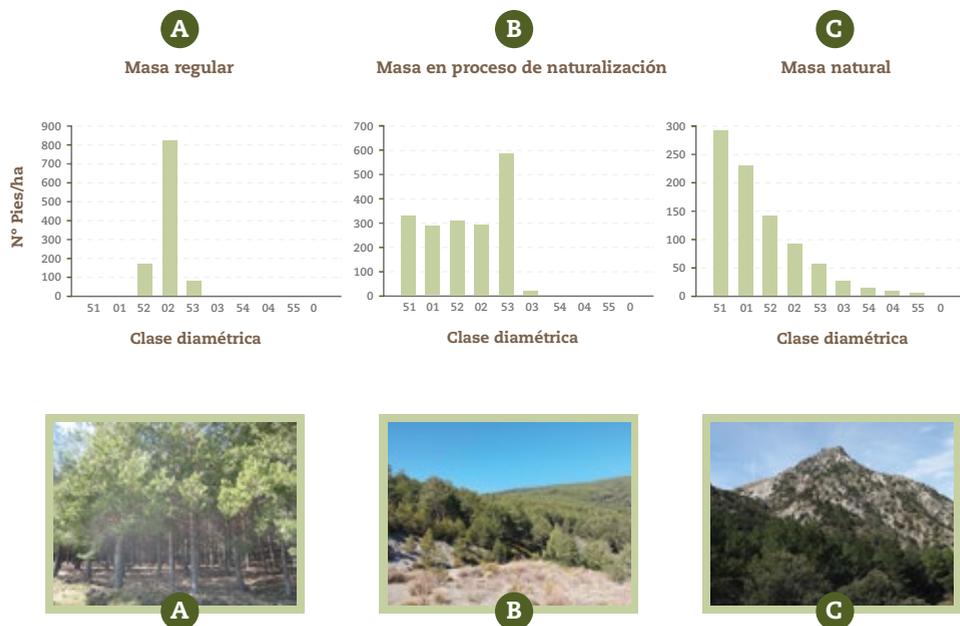


Figura 2. Distribución de pies por clases diamétricas para tres masas de diferente estructura. Ejemplos genéricos adaptados de tres montes de la Alpujarra granadina, Sierra Nevada (Fuente: Proyecto de Ordenación de los montes públicos de la Alpujarra, Granada). A) Masa regular; B) Masa en proceso de naturalización; C) Masa natural.

de pinar se realiza utilizando la selvicultura, siendo por tanto una fórmula para actuar sobre la diversidad y el funcionamiento del ecosistema. La selvicultura adaptativa es la clave.

La Figura 3 ilustra el antes y el después de una actuación selvícola orientada a modificar la estructura de un pinar para mejorar su funcionalidad. El bosque de la izquierda representa una masa regular densa fruto de las restauraciones hechas durante la segunda mitad del siglo XX para evitar la degradación del suelo. Mediante la corta del exceso de pinos, a través de claros y clares diseñados según las características de la masa, se facilita la evolución hacia un bosque más diverso y heterogéneo (derecha), que al constituir un ecosistema más rico y complejo tiene mayor capacidad para recuperarse tras una perturbación, además de proveer mayor diversidad de servicios.

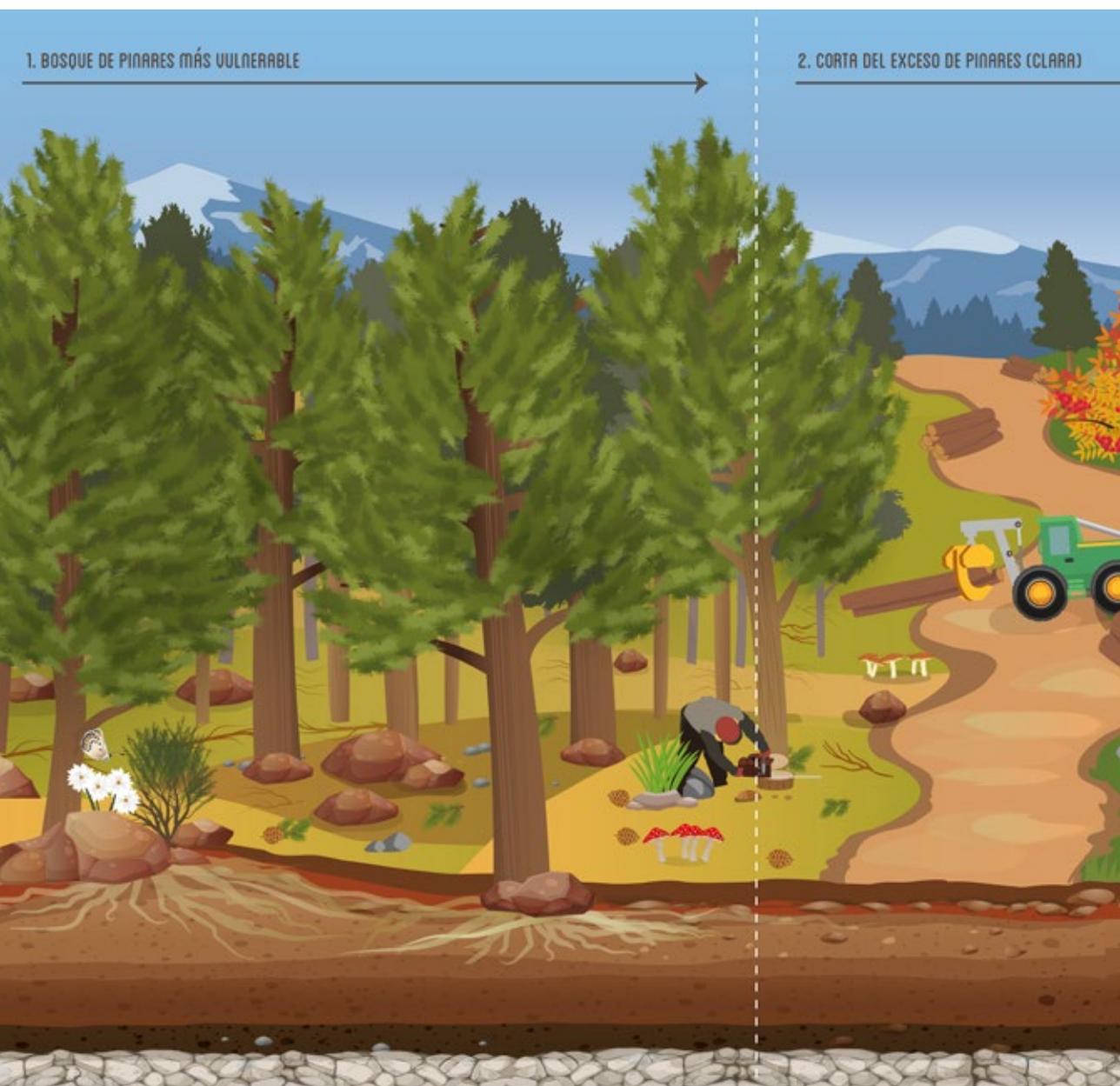


Figura 3. La adecuación de la estructura de los pinares es el primer paso para mejorar su funcionalidad.

### 3. BOSQUE MIXTO MENOS VULNERABLE



El carácter multifuncional de los pinares conlleva que la gestión debe ser integrada. A la producción de bienes de mercado (frutos, madera, pastos, etc.), hay que sumar la producción de otros bienes y servicios como la protección del suelo, la conservación de la diversidad biológica, la mejora y el mantenimiento de la calidad de las aguas, los sumideros naturales de CO<sub>2</sub>, y el valor social y cultural<sup>1</sup>.

Gestionar los pinares mediterráneos andaluces implica valorar circunstancias y tener presentes retos distintos, maximizando las funciones ecológicas o los servicios que aportan, acelerando en la medida de lo posible la trayectoria hacia su conversión en formaciones mixtas mediterráneas<sup>7</sup>.

Este objetivo general es el que ha servido para el planteamiento de las acciones de gestión selvícola llevadas a cabo en los pinares del Proyecto Life Adaptamed.

## 3.2 HERRAMIENTAS PARA CARACTERIZAR LA ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PINARES

Actualmente existen multitud de herramientas que posibilitan una caracterización precisa y dinámica de amplias extensiones de vegetación. Este es el caso de las coberturas de imágenes adquiridas mediante sensores satelitales o aerotransportados, las coberturas LiDAR-aéreo u otros productos derivados. En el caso de las imágenes LiDAR, además de las nubes de puntos LiDAR que permiten ser explotadas directamente en aplicaciones forestales, se encuentran disponibles productos derivados como Modelos Digitales de Elevaciones del Terreno, Mapas de Pendientes, o Altura Normalizada de la Vegetación, entre otros. La explotación de estos productos es utilizada para inventarios forestales, inventarios de biomasa, monitorización y análisis de cambios en masas forestales (distribución, altura, densidad) ya sean debidos a causas antrópicas (actuaciones forestales: cortas, podas, clareos...) o a catástrofes ambientales (incendios forestales, decaimientos y plagas...).

A modo de ejemplo, se cita el visualizador cartográfico “seguimiento del estado de la vegetación en Andalucía” de la REDIAM, que permite el análisis del estado de la vegetación natural ante la situación de sequía o estrés hídrico a partir de la evolución temporal del NDVI en la serie histórica a distintas escalas: regional, comarcal, espacios naturales. Igualmente permite estudiar la relación entre la variación del NDVI a lo largo de la serie temporal y la precipitación.

## CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN: EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN EN EL INCENDIO DE LAS PEÑUELAS (MOGUER, 24/06/2017)

La teledetección posibilita un seguimiento de los procesos de recuperación o degradación de los ecosistemas de una forma dinámica y operativa. Así, se utilizan una serie de indicadores generados a partir de las imágenes de satélite, que integrados junto con otra información de interés, permiten el análisis del estado de la vegetación así como protocolizar la restauración de las áreas afectadas.

El índice más usado para evaluar la recuperación de la vegetación es el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), indicativo de la calidad y desarrollo vegetativo. Está muy relacionado con la biomasa (cantidad de vegetación) y es muy utilizado para detectar cambios espacio-temporales en la vegetación. A continuación se muestra, a modo de ejemplo, el área de pino piñonero afectada por el incendio ocurrido en Moguer en junio de 2017, que calcinó tres parcelas del proyecto Life Adaptamed, junto con un seguimiento del estado de la vegetación a partir del índice NDVI (Fig.4). Puede apreciarse la afección del incendio a la productividad vegetal y la progresiva recuperación posterior.

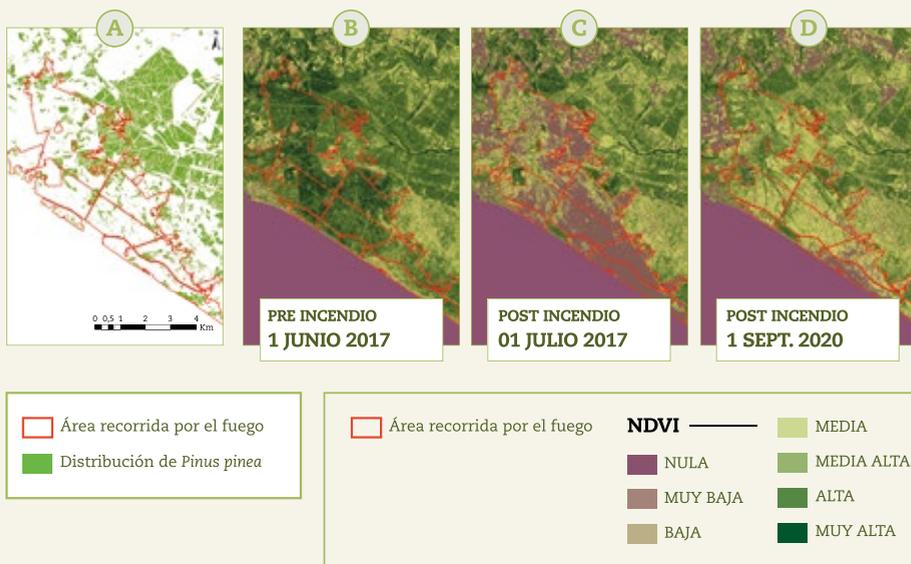


Figura 4. Distribución de pino piñonero en el ámbito afectado por el incendio de las Peñuelas (Moguer) en 2017 (A) y Seguimiento del estado de la vegetación con imágenes Sentinel (B: justo antes del incendio, C: justo después y D: tres años después).



# 04

## PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS PINARES ANDALUCES

El concepto de multifuncionalidad empleado en las últimas décadas para referirse a la gran diversidad de bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas forestales en general, y por los pinares en particular, ha venido a sustituirse recientemente por el término servicios ecosistémicos. Éstos se definen como las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas al bienestar humano. La clasificación actualmente más empleada para categorizar estos servicios los agrupa en tres tipos<sup>19</sup>:

- Servicios de aprovisionamiento: aquellas contribuciones directas al bienestar humano provenientes de la estructura biótica y geótica de los ecosistemas.
- Servicios de regulación: aquellas contribuciones indirectas al bienestar humano provenientes del funcionamiento de los ecosistemas.
- Servicios culturales: aquellas contribuciones intangibles que la población obtiene a través de su experiencia directa con los ecosistemas y su biodiversidad.

### 4.1. SERVICIOS DE APROVISIONAMIENTO

Los pinares siempre han constituido una fuente de recursos de primer orden. En el ámbito rural, las tierras de pinos han contribuido decisivamente al abastecimiento de materias primas y combustible, al tiempo que proporcionaban empleo a sus habitantes. Han existido, sin embargo, distintos patrones temporales en el conjunto de servicios de este tipo que eran demandados por la sociedad, y por tanto en el conjunto de materias primas que abastecían. Igualmente ha cambiado el tipo de producto, la forma de extracción o la intensidad de los aprovechamientos. Mientras que en el siglo XX el abastecimiento de madera para construcción o leñas para calefacción era muy demandado, las leñas apenas se utilizan actualmente. La industria forestal actual requiere fustes limpios para obtención de triturados para tableros o pellets y astillas para calderas de biomasa, demanda en continuo ascenso actualmente.

Además de los productos maderables, existen otros productos no maderables que pueden suponer una fuente de ingresos importante. Éste es el caso de la resina extraída del pino resinero, que ha experimentado un descenso en las últimas décadas<sup>20</sup>, al menos en Andalucía. Otros ejemplos son el piñón procedente del pino piñonero, los hongos silvestres comestibles con valor comercial y la miel de pino.

El conjunto de servicios de aprovisionamiento de los pinares mediterráneos sigue teniendo hoy en día un valor incalculable, constituyendo un factor importante de la renta de muchas localidades. La figura 5 ilustra los principales.



Figura 5. Principales servicios de aprovisionamiento en pinares.

## 4.2. SERVICIOS DE REGULACIÓN

Los pinares proporcionan valiosos servicios de regulación que explican en buena medida las extensas superficies ocupadas por repoblaciones de estas formaciones a todo lo largo de la cuenca mediterránea, plantadas, entre otros motivos, para la regulación hidrológica y el control de la erosión. Así, el hecho

de ser especies pioneras capaces de vivir en condiciones duras, como fuertes pendientes, suelos esqueléticos, intensa radiación e incluso sequías, ha convertido a los pinos en los grandes protagonistas de las restauraciones de paisajes degradados o deforestados y de la fijación de dunas<sup>20</sup>. Una vez establecidos los pinares, el suelo estabilizado por sus raíces y la sombra que proporcionan permiten el crecimiento bajo su cubierta de otras especies más exigentes, como robles, encinas, alcornoques u otras frondosas. Se facilita así la evolución del bosque hacia uno más biodiverso, estable y complejo, tanto estructural como funcionalmente, capaz de proveer mayor número de servicios ecosistémicos.

Algunos de los principales servicios de regulación que proporcionan los pinares son (Fig. 6):

- El secuestro de carbono, con una fijación anual neta de casi 27 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> estimada para las coníferas españolas y un incremento de CO<sub>2</sub> fijado anualmente en Andalucía de 2.67 millones de toneladas por las cinco especies principales de pino, teniendo en cuenta tanto biomasa aérea como radical (calculado a partir de<sup>21</sup>). La fijación neta de carbono realizada por un árbol es el balance entre el carbono acumulado como resultado de su crecimiento, y el liberado por el desprendimiento y descomposición de hojas, ramas, frutos, cortezas, etc. Este papel puede ser muy importante en los ambientes mediterráneos, donde se ha comprobado como en zonas de montaña los pinares capturan casi tanto carbono como las especies del género *Quercus*<sup>20</sup>.
- Mejora de la calidad del aire y generación de oxígeno.
- Generación, protección y conservación del suelo. En un estudio comparativo de la evolución del suelo en pinares plantados sobre suelos degradados en la cuenca del río Guadalfeo se confirmó la mejora en las propiedades del suelo hasta niveles similares a las de los suelos con vegetación autóctona de especies del género *Quercus*, en comparación con las zonas sin plantación que experimentaron una sucesión secundaria. El carbono orgánico del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y la relación carbono-nitrógeno alcanzaron valores similares a los muestreados en suelos con vegetación autóctona de encinas, robles melojos y alcornoques<sup>22</sup>.
- Regulación del ciclo hidrológico, evitando la escorrentía, favoreciendo la infiltración y purificación del agua y su evapotranspiración, disminuyendo la evaporación en la superficie del suelo.
- Desarrollo de un microclima gracias a las condiciones más suaves de humedad y temperatura que se dan bajo un pinar, siendo la sombra especialmente importante en verano en la cuenca mediterránea. También influye

en la regulación climática a mayor escala, al estar relacionados los pinares, como el resto de los bosques, con las precipitaciones a través de los procesos de condensación y evaporación.

- Fomento de la biodiversidad.

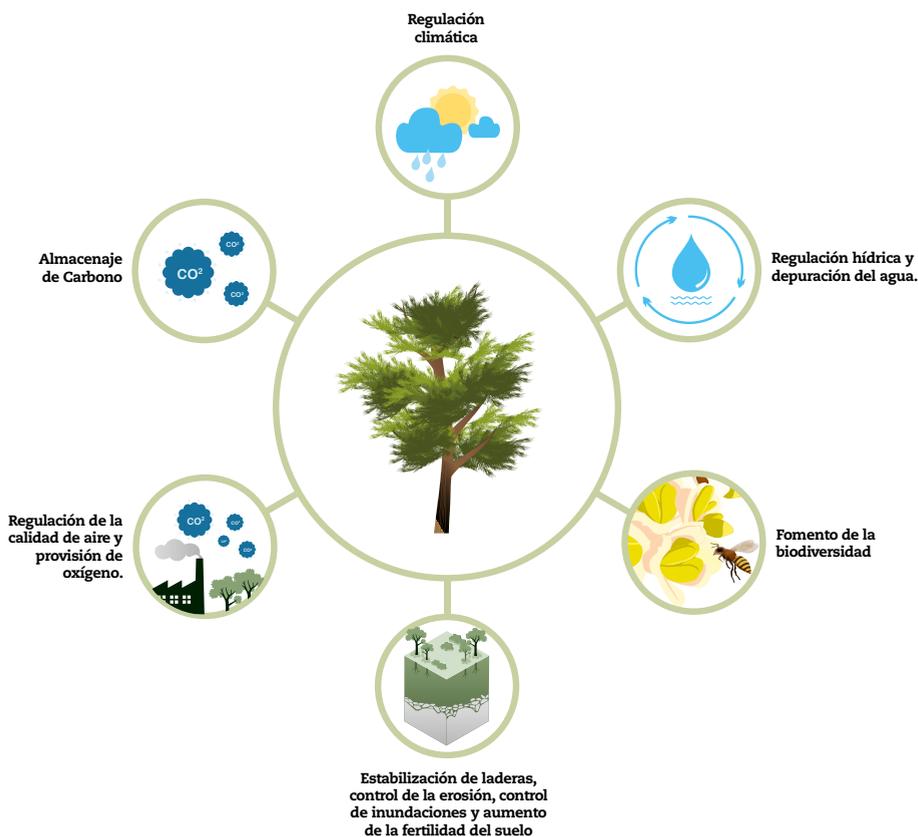


Figura 6. Servicios de regulación proporcionados por los pinares (adaptado de<sup>19</sup>).

### 4.3. SERVICIOS CULTURALES

Los servicios culturales, paisajísticos, de bienestar, educativos, científicos e incluso espirituales, son servicios inmateriales que proporcionan los pinares. Están asociados con la valoración humana no material de los mismos<sup>23</sup>. La figura 7 sintetiza los más importantes.

En los pinares, entre los más destacados estarían el uso recreativo y de esparcimiento, cuya valoración está en continuo aumento, especialmente en el entorno de las ciudades, así como un amplio abanico de usos relacionados con las actividades científicas y educativas.

Este conjunto de servicios tiene diferentes metodologías de evaluación, e incluso de valoración, que no son objeto de este trabajo. Pongamos como ejemplo el pinar de pino silvestre nevadensis de La Cortijuela (E. N. Sierra Nevada), que ha servido para el desarrollo de valiosos estudios de regeneración bajo cubierta de matorral y varias tesis sobre regeneración natural de pino, la interferencia de herbivoría o la introgresión genética con masas de pinos de repoblación. Esta masa se ha utilizado igualmente para la recolección de material genético de referencia de la variedad nevadensis para la constitución de un huerto semillero. Cuenta con un jardín botánico, senderos e interpretación. Es una de las zonas más visitadas por senderistas, para rutas mtb y de fotografía de naturaleza del Parque Nacional de Sierra Nevada.



Figura 7. Servicios culturales asociados a los pinares (adaptado de<sup>24</sup>).

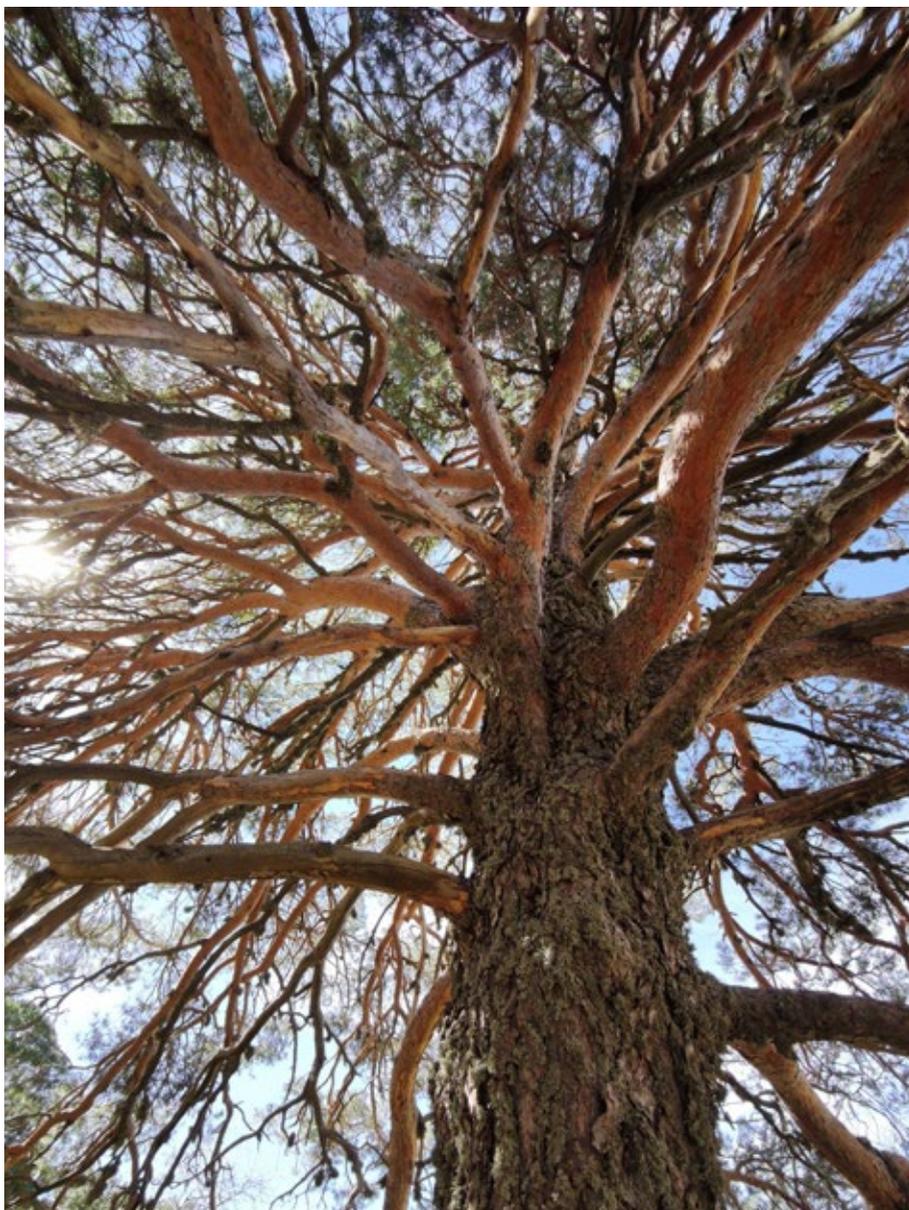


Foto 4. El dosel arbóreo de los pinos proporciona importantes servicios, como sombra, regulación microclimática, almacenaje de carbono y producción de oxígeno.



# 05

## VULNERABILIDAD DE LOS PINARES ANDALUCES AL CAMBIO GLOBAL

## 5.1. CAMBIOS DE USOS DEL SUELO

En Andalucía se ha producido un mantenimiento general de la superficie forestal durante los últimos cincuenta años, si bien estos terrenos han experimentado notables transformaciones internas. De manera similar a lo que ocurre en el conjunto del país, la mitad de la región está ocupada por usos forestales. Los espacios forestales se han mantenido, en gran medida, en las áreas montañosas, condicionados por factores como la litología, las pendientes y la distancia a zonas urbanizadas. Con frecuencia, además, las coníferas han ocupado los terrenos más improductivos.

Durante los últimos setenta años se ha producido un intenso proceso de reforestación que ha supuesto el incremento de la superficie forestal arbolada en el conjunto de la región, siendo más acusado en las sierras de Andalucía oriental. Como consecuencia de estas repoblaciones, en la segunda mitad del siglo XX las formaciones dominadas por coníferas (en su mayor parte del género *Pinus*) crecieron un 78%, aumentando en casi 347.000 hectáreas. En su conjunto, el matorral con coníferas y el arbolado denso de coníferas suponen más de un 17% de la superficie forestal<sup>25</sup>, correspondiéndose con la superficie cubierta por pinares con un 28% del total arbolado<sup>26</sup>.

Las mayores masas de pinares en Andalucía se encuentran en las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. La franja litoral de las provincias de Huelva y Cádiz experimentó diferentes repoblaciones entre los siglos XIX y XX. Sierra Bermeja y Sierra Almirante, por la toxicidad del sustrato, peridotítico en la primera y dolomítico en la segunda, estaban pobladas con pino resinero<sup>25</sup>. En las reforestaciones de la segunda mitad del siglo XX se emplearon masivamente diferentes especies de pino, principalmente las cinco mencionadas en este manual, plantadas en ambientes muy distintos, cubriendo un amplio gradiente de condiciones climáticas y topográficas.

El grado de detalle de la cartografía disponible para el siglo XX no permite analizar cambios de usos diferenciando las especies de pino. Sin embargo, ese mayor nivel de detalle sí es posible a partir de la cartografía más reciente. Desde 2005, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía integra la producción cartográfica sobre ocupación del suelo en el marco del proyecto SIOSEA (Sistema de Ocupación del Suelo de España en Andalucía). Analizando la distribución entre 2005 y 2016 de las cinco especies principales de pino existentes en Andalucía (Fig. 8) se observa que el pino piñonero, y en menor medida el salgareño y el carrasco, han incrementado su superficie en este periodo un 21% el primero,

y un 16% y un 7% respectivamente los otros dos. La superficie del pino resinero se ha mantenido estable, mientras que el pino silvestre ha dejado de ocupar más de la mitad de los terrenos que poblaba a principios de este siglo, una disminución muy notable para un periodo de tiempo de poco más de una década.

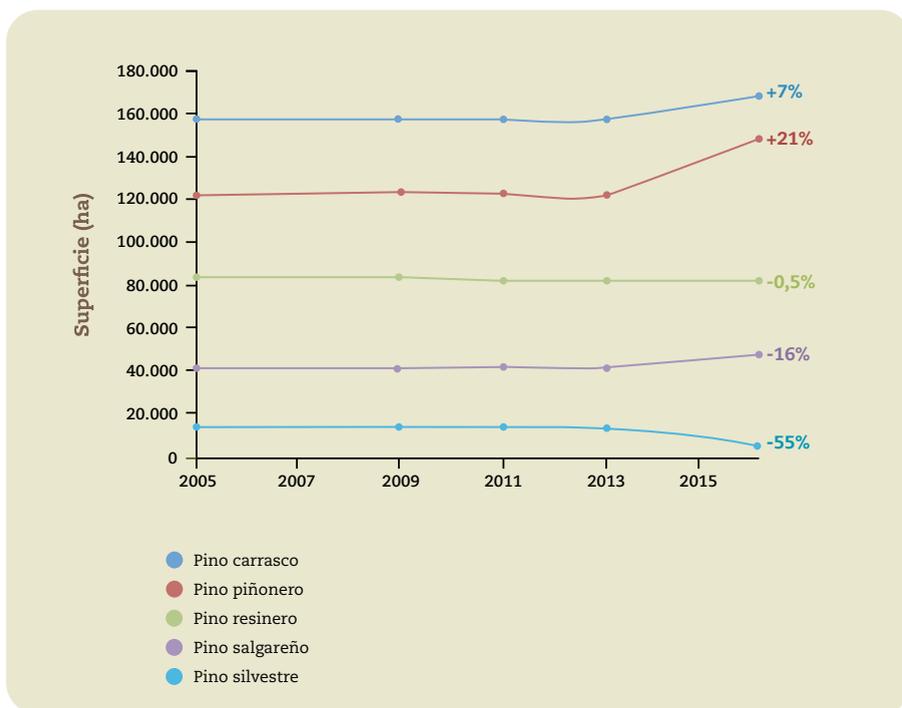
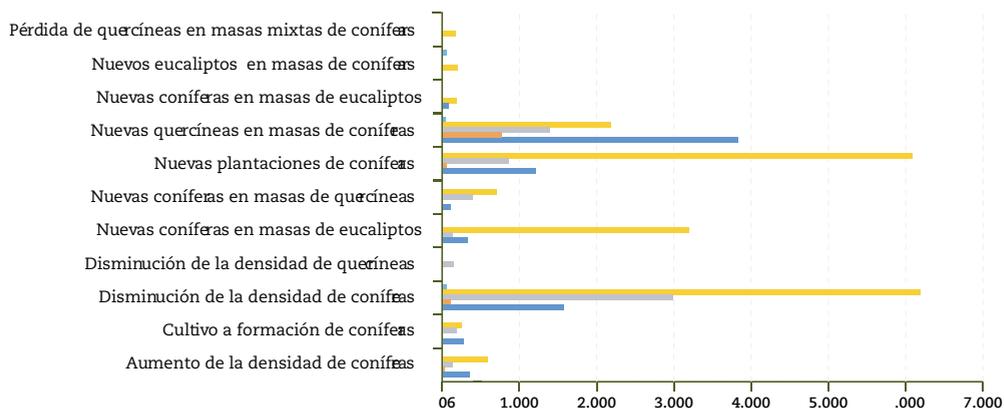


Figura 8. Evolución de la superficie, en ha, ocupada por las principales especies de pinares en Andalucía. Fuente: Datos de BMI1 (Base multitemporal intermedia) de SIPMA (Sistema de Información del Patrimonio Natural de Andalucía) para los años 2005, 2009, 2011 y 2013. Datos de SIPNA, publicación 2022\_01, para 2016. Se ha considerado como superficie de pinar la presencia de las especies.

Los cambios experimentados por las masas de coníferas en Andalucía se muestran en la Figura 9a. Puede observarse como la especie que más hectáreas ha aumentado su superficie ha sido el pino piñonero, con más de 6.000 nuevas ha y más de 3.000 ha en las que ha desplazado o convive con el eucalipto, al mismo tiempo que ha visto cómo disminuye su densidad en otras 6.000 ha. También han disminuido su densidad en extensiones importantes el pino resinero y el pino carrasco, al mismo tiempo que aparecían nuevas especies de *Quercus* en

pinar de carrasco, piñonero, resinero y salgareño. El pino carrasco es al que le corresponde una mayor superficie estable, seguido del piñonero, salgareño y resinero. Llama la atención la pequeña superficie de pino silvestre que se ha mantenido estable (Fig. 9b).

a)



b)

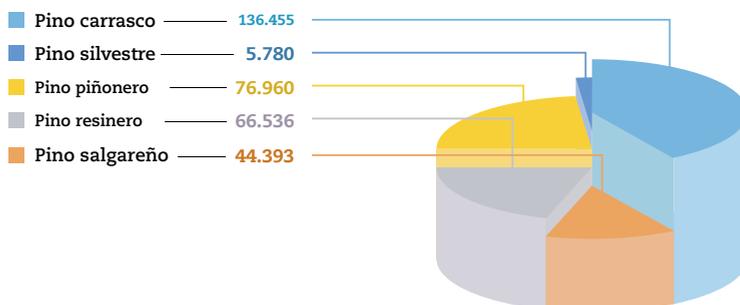


Figura 9. a) Tipos de cambios experimentados en las clases de ocupación con coníferas entre 2005 y 2016, a partir de la distribución en 2016 de cada una de las 5 especies estudiadas. Se han seleccionado todos los polígonos ocupados por coníferas en 2005 ó 2016, analizando los tipos de cambios experimentados y agrupándolos en once categorías. El análisis se ha restringido a polígonos mayores de 10 ha. b) Superficie de pinar que se ha mantenido estable entre 2005 y 2016, en ha (Fuente: análisis propio realizado sobre cartografía SIOSE).

## 5.2. CAMBIO CLIMÁTICO

### **Tendencia en la precipitación y en la temperatura en los Espacios Protegidos incluidos en Life Adaptamed.**

El clima en Andalucía es de tipo mediterráneo y se caracteriza por inviernos lluviosos y suaves, y por veranos secos y calurosos. Su gran variabilidad espacial y temporal, llevada cada vez más al límite a causa del cambio climático, es responsable de la ocurrencia de fenómenos extremos de diversa índole que afectan de forma relativamente localizada a diferentes áreas de la región. En esta variabilidad espacial tiene especial relevancia una orografía compleja y la interacción de grandes masas continentales y oceánicas. En resumen, el clima en la región está caracterizado por una marcada complejidad y por multitud de matices que favorecen una heterogeneidad espacial que confiere diversidad paisajística y de nichos ecológicos (Fig. 10).

Esta heterogeneidad también tiene reflejo en las masas forestales en general y en los pinares en particular. Para el caso de Doñana, situada en el flanco litoral atlántico, el clima está suavizado por el propio océano y queda claramente marcado por cierta cantidad de precipitación durante el invierno. En el extremo opuesto del litoral andaluz, en el área de Cabo de Gata, el clima es mediterráneo subdesértico y viene definido por la escasez de precipitación y las altas temperaturas, lo cual deviene en fuertes tasas de evapotranspiración y en fenómenos de desertificación. Finalmente, en Sierra Nevada y otros enclaves elevados de las cordilleras Béticas el clima viene determinado por la altitud, que involucra temperaturas bajas (a razón de un descenso de 6°C conforme ascendemos 1.000 m aproximadamente) y una mayor pluviometría a favor del gradiente altitudinal.

El análisis de los datos de precipitaciones y temperaturas en el periodo 1951-2020 muestra patrones de precipitación irregulares y un calentamiento continuo, recientemente acelerado (ver Figura 11). Destaca una sequía intensa durante buena parte de la década de los noventa que provocó una importante situación de estrés y déficit hídrico generalizado en toda la región. Posteriormente, volviendo a los espacios naturales en los que se ha desarrollado Life Adaptamed, la recuperación fue completa en el caso de Doñana (incrementando incluso los valores iniciales en un 3,8%), si bien en Sierra Nevada no se ha producido dicha recuperación (se constata un descenso del 8,8% respecto al inicio de la serie). En Cabo de Gata, la reducción de la precipitación posterior a la sequía de los noventa se sitúa en un 8,6% respecto al inicio de la serie. En cualquier caso, durante las últimas dos décadas se consolida la tendencia observada según la cual los fenómenos extremos presentan una intensidad creciente, con un número muy significativo de meses con sequía severa.

En relación a las temperaturas en estos espacios protegidos, la tendencia es similar a la del conjunto de la región e involucra un calentamiento lento pero continuado. Los aumentos más importantes se producen en Cabo de Gata (+0,9°C) y en Sierra Nevada (+0,8°C), mientras que en Doñana este ascenso es más moderado (+0,4°C). Los patrones intraanuales en estos tres espacios naturales muestran particularidades según el sitio. En Cabo de Gata las temperaturas suben en todas las estaciones del año con incrementos que llegan a ser de +1°C en verano, mientras que las precipitaciones descienden (especialmente en primavera, hasta un 20%). Por otro lado, en Doñana destaca el elevado incremento que se ha producido en las precipitaciones de otoño, que compensan los descensos durante los inviernos y las primaveras. El incremento de la temperatura en Doñana es más moderado, siendo en primavera cuando se produce un mayor calentamiento (+0,6°C). En Sierra Nevada el efecto del cambio climático parece ser más intenso que en las otras dos zonas. Aquí se ha producido una reducción del 15% de las precipitaciones en invierno y primavera, que no llega a ser compensado con un incremento del 10% de la precipitación durante el otoño. A lo largo de los últimos setenta años, los veranos en Sierra Nevada han aumentado su temperatura en 2°C.

- **Clima de montaña**
- **Mediterráneo oceánico**
- **Mediterráneo sub-continental de inviernos fríos**
- **Mediterráneo sub-continental de veranos cálidos**
- **Mediterráneo subdesértico**
- **Mediterráneo subtropical**

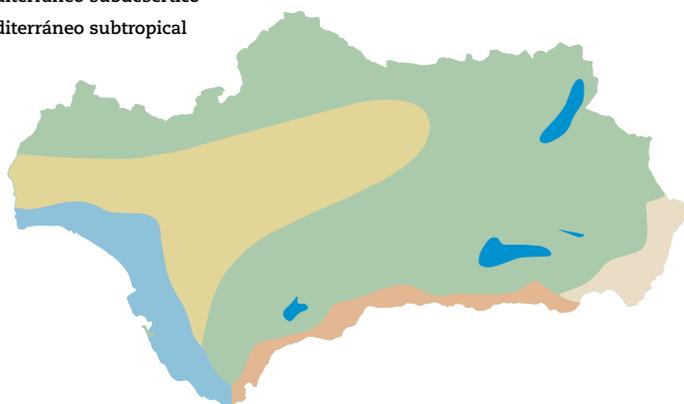


Figura 10. Tipos de clima en Andalucía.

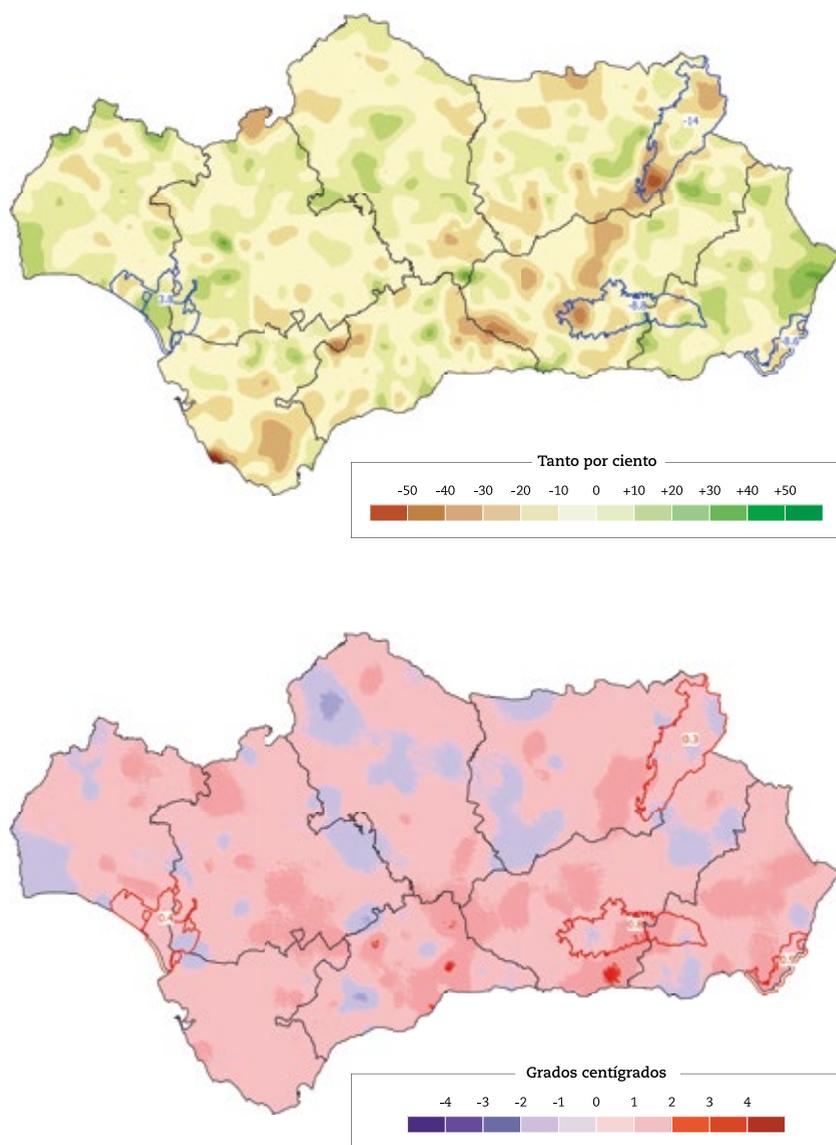


Figura 11. Mapas de desviación de las precipitaciones medias acumuladas (en tanto por ciento) y de las temperaturas medias (en grados centígrados) entre los periodos 1951-1980 y 1991-2020.

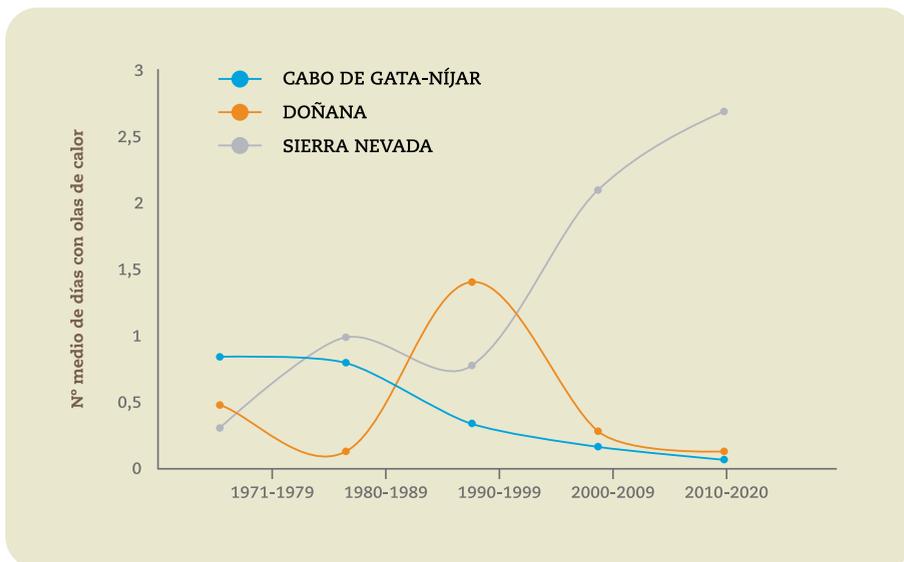


Figura 12. Número medio de días de ola de calor en Doñana, Cabo de Gata y Sierra Nevada en los periodos 1971-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009 y 2010-2020.

Por otra parte, las olas de calor vienen siendo un fenómeno cada vez más recurrente en toda la región. En Sierra Nevada, por ejemplo, la tendencia es netamente creciente, mientras que en Cabo de Gata y Doñana, la proximidad al mar suaviza los incrementos de temperatura en verano y hace de las olas de calor un problema mucho menos frecuente (Fig. 12).

Los fenómenos señalados tienen importantes impactos sobre los ecosistemas terrestres, que pueden considerarse como especialmente severos en los pinares debido a su actual composición y estructura. Esto se traduce en alteraciones fisiológicas debido al estrés hídrico, lo cual en último término puede conducir a que se produzcan cavitaciones del xilema (embolias), pérdida de hojas, cierre estomático y reducción del área foliar. Todo ello conlleva una disminución de su capacidad de absorción de  $\text{CO}_2$ . La tendencia general observada en los patrones climáticos empleados en este análisis lleva a concluir que el actual escenario involucra mayores riesgos para la integridad de las masas de pinar, lo cual les confiere una vulnerabilidad mayor frente a perturbaciones bióticas y abióticas. Valga como ejemplo la mayor incidencia de plagas forestales impulsada por los cambios en el clima (ver punto 5.3 de este manual).

### Distribución potencial de las especies de pino ante un escenario de cambio climático

Los modelos cartográficos tienen una gran utilidad a la hora de orientar las decisiones de gestión. Una de las casuísticas de estudio más recurrentes es el modelado de la distribución potencial de los organismos en función de los escenarios climáticos proyectados para el futuro. Las modificaciones en el clima involucran cambios en las distribuciones de los organismos, lo cual, en el caso concreto de los pinares, deviene en la modificación de los valores de la estación forestal donde se localizan. La modelización de los cambios previstos para estos valores permite identificar las poblaciones que en mayor medida van a verse afectadas por el cambio climático, y en las que cabe esperar que aparezcan señales de decaimiento, materializadas en enfermedades y plagas.

Para la elaboración de este manual se ha llevado a cabo un estudio partiendo de la distribución presente y de un total de 26 variables ambientales que han demostrado anteriormente delimitar correctamente la estación de cada una de las cinco principales especies de pino presentes en Andalucía<sup>27</sup>. Estos análisis han permitido definir la potencialidad actual del hábitat para las cinco especies del género *Pinus* autóctonas presentes en Andalucía (Fig. 13). Partiendo de ello se han generado simulaciones futuras para cuatro Modelos de Circulación General<sup>28</sup>, en 4 escenarios de emisiones (RCP26, RCP45, RCP60 y RCP85) y el escenario de referencia único de partida, o clima del pasado (1961-2000).



Foto 5. Corteza de pino piñonero quemada tras el paso de un incendio.

Según nuestros resultados, el impacto promedio estimado del cambio climático (valorado de 0 a 100 y medido como una estimación probabilística de la magnitud de las consecuencias provocadas por la alteración de una variable territorial relacionada con el hábitat de una especie) en los bosques de pino asciende a 78 (tabla 1). El pino silvestre es la especie más afectada (100), mientras que el pino carrasco es la menos afectada (66). El impacto promedio sobre la superficie potencial es del 86% y nuevamente es el pino silvestre la especie más impactada (100%) y el pino carrasco la que menos (82%). A partir de estos resultados, y según se muestra en los mapas de la Figura 14, podemos considerar que el cambio climático va a infligir severos impactos sobre la distribución de las cinco principales especies de pino presentes en Andalucía.

La adaptación *in situ* al cambio climático consiste en buena parte en medidas que se basan en la transformación y conversión de la cobertura vegetal mediante diferentes técnicas selvícolas que irremediablemente dan lugar a la sucesión o cambio del ecosistema actual por otro diferente. Este tipo de adaptación no tiene como objetivo hacer que perdure la composición florística del ecosistema, sino el tipo estructural de la cobertura vegetal. Por otra parte, el sometimiento de una especie a un impacto de valor 1 (como es el caso del pino silvestre), significa que no se conoce en Andalucía una población equivalente que persista en dichas condiciones de hábitats, por lo que en teoría las medidas de adaptación serían en vano para dicha especie (no para las que la sucedan). Por esta misma razón, es de prever que el ecosistema se regule a sí mismo (adaptación autónoma) antes de llegar a este punto (valores de impacto menor a 1), variando densidad, porte y frecuencia florística, entre otros. Esto nos lleva a recomendar una revisión de las estrategias de gestión para esta especie.

Adicionalmente, la identificación de áreas refugio de pinares también es una herramienta con aplicaciones muy útiles a la gestión de las masas que se deriva de los procesos de modelado aquí expuestos (Fig. 15). Éstas se definen como áreas donde se produce acumulación de valores elevados de habitabilidad de las cinco especies de pino para el periodo 2071-2100. Los resultados muestran una reducción drástica de estas áreas refugio para los pinares autóctonos andaluces, quedando los principales núcleos relegados exclusivamente a determinadas zonas de las Sierras Béticas. Estos parches están mejor conectados y son más extensos en el sector Penibético.

Otra aproximación derivada de este proceso de modelado es la distribución idónea. Del análisis para las cinco especies de pino autóctono en el periodo de referencia 2071-2100 (Fig. 16) se desprende que el pino carrasco y, en menor medida, el pino piñonero mantendrán la potencialidad en la mayor parte del territorio andaluz, mien-

tras que el pino resinero quedará relegado a las regiones montañosas actualmente ocupadas por el pino salgareño y el pino silvestre. Tal y como puede observarse en la Figura 16, el pino salgareño ascenderá altitudinalmente, reduciendo su área de distribución actual, y ocupará las zonas actualmente propias del pino silvestre. Esta última especie, tal y como se ha comentado, desaparecerá completamente.

Esta herramienta, y la perspectiva del problema que involucra, no solo permite desarrollar un modelo para estimar la capacidad adaptativa de los ecosistemas mediante actuaciones *ex situ*, sino que también facilita la elaboración de herramientas de información territorial que permitan conocer las regiones más robustas a la hora de conservar o favorecer la migración de ecosistemas.

Tabla 1. Impacto del cambio climático en la deslocalización de los pinares en la distribución actual y potencial. La última columna representa el umbral mínimo admisible del ecosistema para NVO según un cuantil del 3%. NVO = Número de Variables Óptimas del sitio ecológico para un ecosistema determinado, definido conforme a <sup>27</sup>

Especie	Superficie actual (ha)	Impacto medio sobre la superficie actual	Superficie potencial (ha)	Impacto medio sobre la superficie potencial	NVO (3%)
Pino carrasco	169.503	0,66	8.053.952	0,82	13
Pino resinero	82.821	0,67	7.555.984	0,87	9
Pino piñonero	149.048	0,94	7.024.792	0,89	8
Pino salgareño	48.717	0,83	2.328.236	0,92	6
Pino silvestre	6.485	1,00	89.832	1,00	14
Total/promedio	456.574	0,78	25.052.796	0,86	10,0

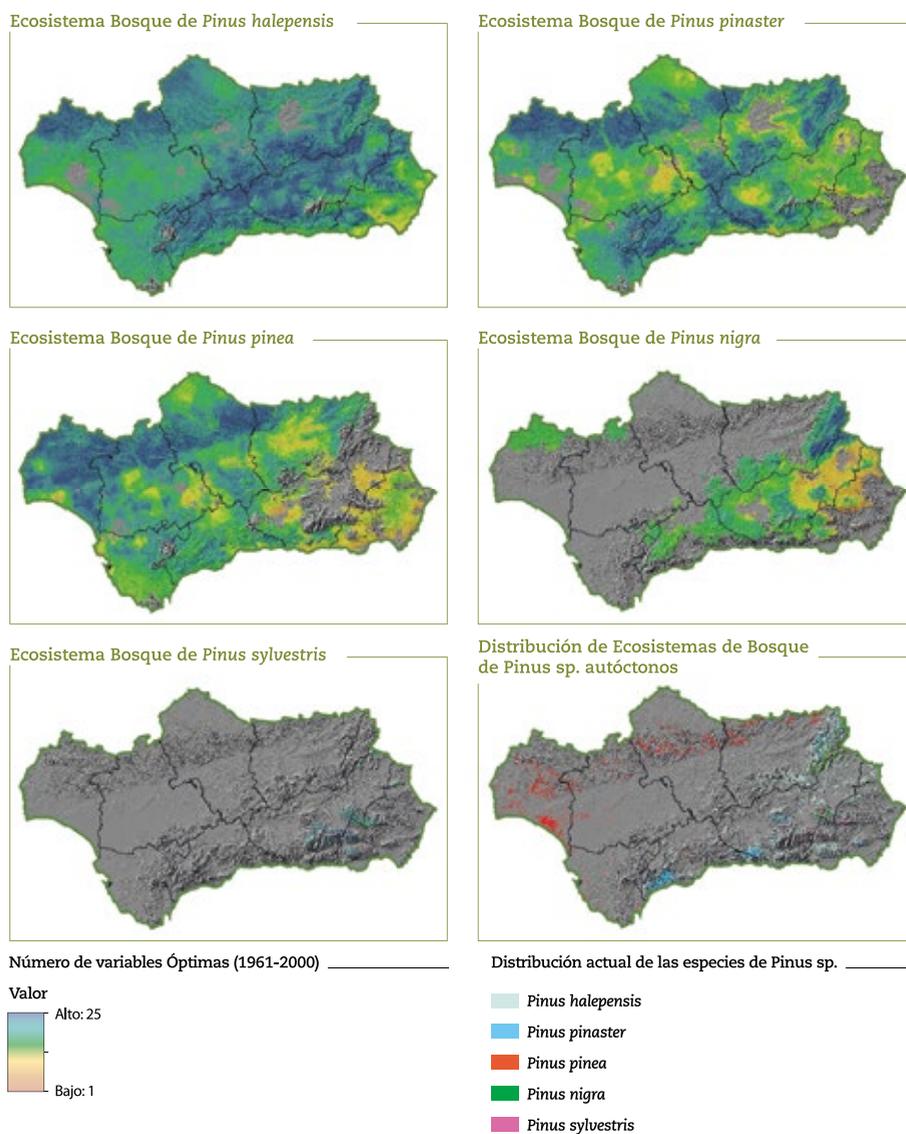


Figura 13. Distribución potencial (a partir del Número de Variables Óptimas) para el periodo de referencia 1961-2000 para las 5 especies de pino autóctonas de Andalucía, definidas a partir de 26 variables ecológicas cuya caracterización delimita la estación de la especie.

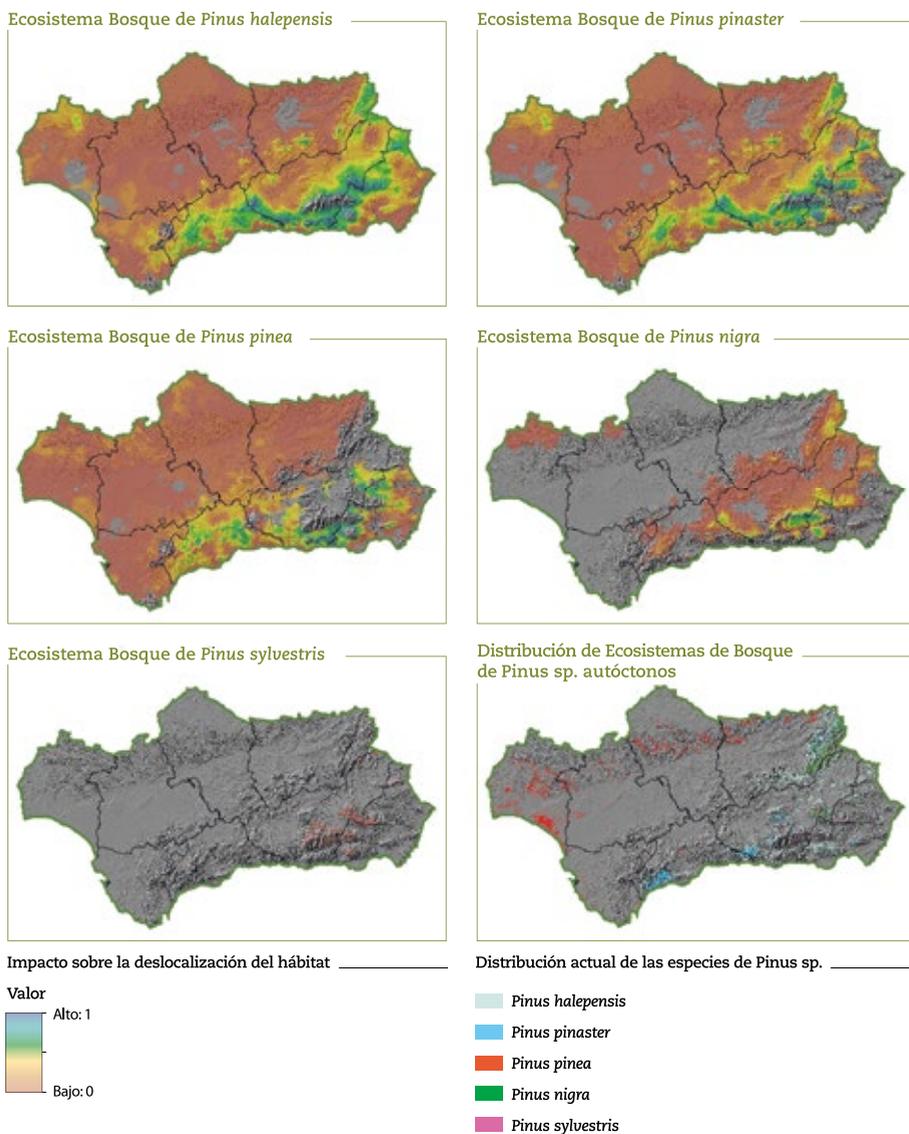
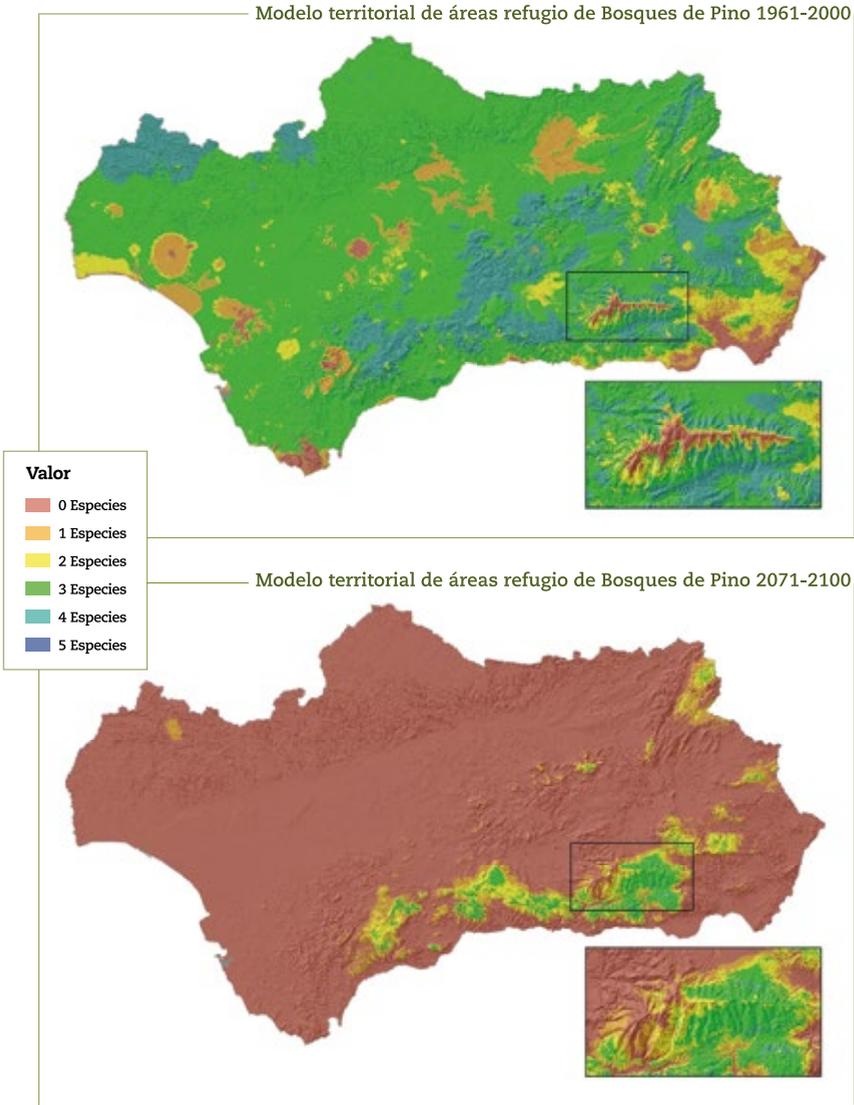


Figura 14. Distribución del impacto del cambio climático sobre la deslocalización de los ecosistemas de bosque para las 5 especies de pino autóctonas de Andalucía.



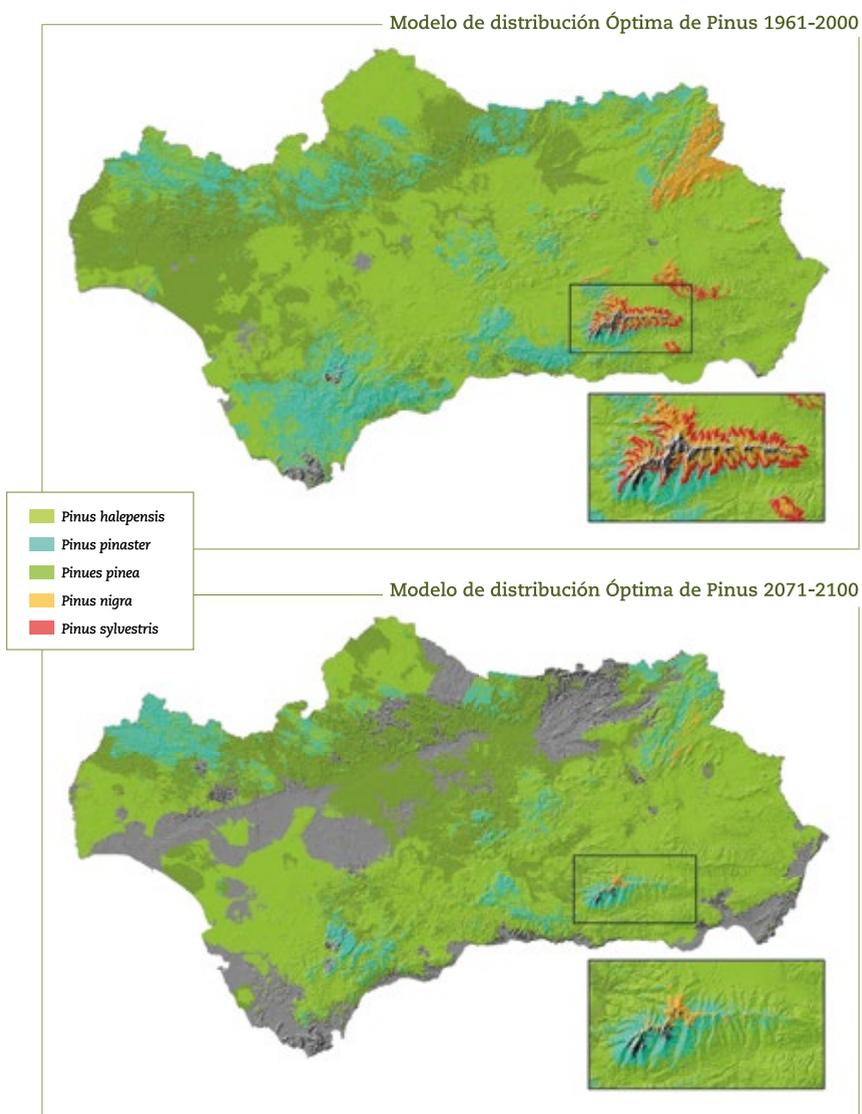


Figura 16. Variación de los Modelos de distribución óptima de los ecosistemas de Bosque de Pino autóctonos de Andalucía<sup>27</sup>.

### 5.3. PLAGAS, ENFERMEDADES Y OTROS AGENTES QUE ALTERAN LA ESTABILIDAD DE LOS PINARES

Son numerosos los agentes bióticos que producen daños en los pinares mediterráneos, aunque no hay que olvidar que la mayor parte de las especies que los ocasionan pertenecen al elenco natural del ecosistema y, por tanto, son parte indispensable de su funcionamiento. Por su parte, los agentes abióticos pueden remodelar los hábitats, en función de su intensidad y/o recurrencia, siendo en nuestro territorio el factor que influye de manera más directa sobre la salud y la estructura de los pinares.

Aunque la casuística de las plagas que afectan a los pinares es variada, podemos señalar dos grupos esenciales de plagas que verán incrementada su incidencia en los pinares andaluces: las que pueden atacar a pinares en buen estado de crecimiento, como la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) y las que preferentemente atacan a pinares estresados por sequía, incremento de temperatura, competencia excesiva, o una combinación de todas ellas, como la cochinilla *Matsucoccus feytaudi*.

La procesionaria del pino es un lepidóptero defoliador que suele atacar a masas forestales saludables y jóvenes, aunque prácticamente ningún pinar está libre de su ataque. Sus efectos pueden ser espectaculares, ya que la defoliación es muy llamativa y puede afectar a grandes extensiones, pero el daño que hacen al pinar (debido, entre otras cosas, a la salud previa de la masa) suele ser escaso. La incidencia de la procesionaria presenta en Andalucía un ciclo de unos 5-6 años<sup>29</sup>, por lo que los ataques más virulentos de esta plaga son limitados en el tiempo (rara vez un pinar es defoliado de forma masiva dos inviernos



Foto 6. Aspecto de una masa de pinar sometida a un intenso proceso de decaimiento.

seguidos), y tras ellos los pinos se recuperan bien, siendo baja la mortalidad<sup>30</sup>. Así, los daños que puede producir son equiparables a los de otros defoliadores, que aunque de forma menos generalizada, pueden aparecer en los bosques de coníferas andaluces. Tal es el caso de los himenópteros dipriónidos que afectan al pino silvestre (*Diprion pini*, *Gilpinia virens*, *G. frutetorum* y *G. pallida*), o algunos coleópteros curculiónidos (*Brachyderes spp.*, *Pachyrhinus squamosus*), bupréstidos (*Anthaxia spp.*, *Paenopsis spp.*, *Chrysobothris solieri*, *Buprestis spp.*) y cerambícidos (*Monochamus galloprovincialis*, *Arhopalus spp.*) que causan defoliaciones parciales en diversas especies de pino. Síntomas compatibles con el hongo *Sirococcus conigenus* aparecen con frecuencia en pinares costeros o pinares de pino carrasco con cierta humedad ambiental en zonas cálidas, aunque habitualmente solo afecta a parte de la copa.

Generalmente los insectos chupadores, por sí mismos, no producen grandes daños en estos pinares, pero bajo determinadas circunstancias ambientales (esencialmente sequía), pueden contribuir al debilitamiento del arbolado, en ocasiones de forma muy seria, como ha podido observarse con la cochinilla del pino resinero (*Matsucoccus feytaudi*) en algunas zonas Granada. Esta cochinilla aparece asociada a anóbidos del género *Ermobius*, así como a una nutrida variedad de entomofauna corticícola. Los pulgones del género *Cinara* y *Mindarus* suelen producir daños en primavera-verano, que normalmente no revisten gravedad. Las cochinillas *Leucaspis pini* y *Palaeococcus fuscipennis* son muy comunes en todos los pinares estudiados, e incluso han producido daños o molestias en los pinares costeros de *P. pinea*. Es destacable la rápida difusión que ha experimentado la población de la especie invasora *Leptoglossus occidentalis*, distribuida ya por la práctica totalidad de los pinares ibéricos, y que puede causar daños sobre piñas jóvenes en masas dedicadas al aprovechamiento del piñón. Algunos de estos insectos pueden ser vectores de enfermedades, tal es el caso de la bacteria *Candidatus Phytoplasma pini*, que está relacionada con el decaimiento de pinares (especialmente de pino carrasco). Esta bacteria es conocida por producir escobas de bruja, pero también se encuentra asociada a otra sintomatología menos específica, cuya extensión y gravedad parece estar motivada inicialmente por un elevado estrés hídrico y la presencia de los insectos chupadores.

También pueden producir daños de cierta consideración en piñas los insectos carpófagos, el curculiónido *Pissodes validirostris* y el lepidóptero pirálido *Dioryctria mendacella*.

Respecto a los agentes floemófagos y/o xilófagos, son prácticamente las mismas especies de bupréstidos y cerambícidos que pueden producir defoliaciones en los pinos y que desarrollan su estadio larvario en el interior de árboles debili-

tados o muertos. No pueden considerarse plagas primarias generalmente, pero contribuyen a la rápida muerte de los pies decaídos. Mención especial merece *Monochamus galloprovincialis*, que aunque por sí mismo no es un peligro para los pinares, es el principal vector del nematodo del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*) en Europa. Pese a que éste aún no se ha detectado en Andalucía, la cercanía de los focos de Portugal obliga a mantener una alerta fitosanitaria especial. Existen multitud de familias de coleópteros saproxilófagos (bostríquidos, anóbidos, cerambícidos, elatéridos, etc.) que podrían manifestarse como plaga en circunstancias ambientales que les fueran favorables. Entre los más destacados que afectan a pinos en el ámbito de estudio están los curculiónidos floeófagos, como *Pissodes castaneus*, o algunos escolítidos, como *Ips sexdentatus*, *Tomicus destruens*, *T. minor*, *Orthotomicus erosus*, *Hylurgus ligniperda*, *H. micklitzii* y varias especies de los géneros *Pityogenes*, *Pityophthorus* o *Crypturgus*. El lepidóptero *Dioryctria sylvestrella* puede producir daños subcorticales de importancia sobre el pino silvestre. Algunos hongos xilófagos (como *Phellinus pini*) se transmiten fácilmente con herramientas de corte al realizar podas o resinaciones.

La lista de daños producidos por otros agentes bióticos podría ser larga, pero por su singularidad o facilidad de observación hemos seleccionado una planta hemiparásita, el muérdago (*Viscum album austriacum*), que aún no ha provocado graves daños en los pinares en estudio, pero cuya presencia generalizada ya es un hecho. Este agente puede producir la muerte del árbol con el paso del tiempo, especialmente en poblaciones descontroladas, que suelen ser promovidas esencialmente por la alimentación y posterior excreción de aves migradoras como los zorzales, pero también por ardillas y quizás otros pequeños mamíferos. A diferencia de la procesionaria del pino, *Matsucoccus* y otras plagas similares, el muérdago no muestra ciclos temporales claros, es típicamente irruptivo, afecta a pinares estresados y cuando ataca a un pinar el resultado suele ser una mortalidad masiva o decaimiento.

### 5.4. INCENDIOS

Los incendios forestales constituyen una de las perturbaciones más radicales a las que están sometidas las formaciones forestales, y en particular los pinares mediterráneos.

Las sequías recurrentes, endémicas en la cuenca mediterránea, constituyen el principal factor coadyuvante, junto a las altas temperaturas y bajas humedades, para que los incendios sean cada vez más devastadores. Los incendios fo-

restales siempre han formado parte del conjunto de perturbaciones habituales en los ecosistemas mediterráneos. Sin embargo, en las actuales condiciones climáticas, la tendencia es que se transformen con más frecuencia en megaincendios, los llamados de sexta generación, en donde la componente atmosférica toma el control del evento haciéndolos incontrolables y multiplicando exponencialmente su potencial destructor. La Figura 17 muestra las áreas recorridas por el fuego en Andalucía desde 1975 hasta la actualidad.

La selvicultura preventiva contra incendios forestales es la única herramienta eficaz a largo plazo frente a estos incendios catastróficos e inapagables por los medios de extinción. El índice de piroficidad de estas masas está directamente relacionado con la cantidad y el modelo de distribución del combustible que se acumula en estos ecosistemas, por lo que su gestión debe pasar por la reducción drástica de combustible, es decir, por la realización de claras y por la creación de sistemas de defensa en cortafuegos, líneas de protección, fajas y áreas de defensa. La gestión forestal debe propiciar la discontinuidad espacial del pinar, abriendo huecos con poca vegetación y diversificando especies.

Esta selvicultura preventiva contra incendios forestales es compatible con una gestión forestal adaptativa, es más, forma parte de este concepto, en tanto que dirige las masas a estructuras más resilientes, menos ignífugas y con mayor capacidad de regeneración al contar con más diversidad de especies, garantizando en el tiempo la preservación de aquellos servicios que sustentan la diversidad y la protección del suelo.

### **Campañas**

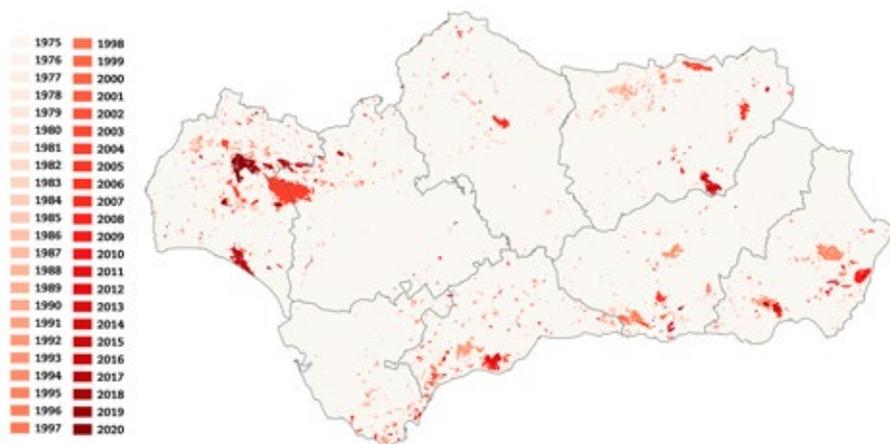


Figura 17. Cartografía histórica de áreas recorridas por el fuego en Andalucía identificadas mediante técnicas de teledetección. (1975 - 2020)



# 06

GESTIÓN PARA LA  
CONSERVACIÓN Y LA  
ADAPTACIÓN

Numerosos trabajos han analizado los distintos efectos e impactos observados en los bosques atribuibles a las nuevas condiciones climáticas (ver para una revisión completa <sup>31</sup>), constituyendo una de las principales amenazas para el mantenimiento de la estructura y dinámica de los mismos, siendo particularmente vulnerables los localizados en la cuenca mediterránea<sup>32</sup>. Ante esta situación, los gestores forestales enfrentan un futuro climático incierto, lo que les obliga a desarrollar estrategias de adaptación de los ecosistemas forestales frente a los cambios climáticos observados y proyectados. Sin embargo, no siempre hay modelos selvícolas adecuados para preparar los ecosistemas forestales para hacer frente al cambio climático, lo que convierte a la silvicultura adaptativa en un reto para los gestores de los recursos naturales. Los pinares, y en particular, aquellos procedentes de masas artificiales, son uno de los sistemas naturales más vulnerables a los impactos potenciales del cambio climático. Entre los efectos más importantes se encuentran<sup>33</sup>: los cambios en la distribución de las especies, los fenómenos de sustitución local de las especies más vulnerables por otras mejor adaptadas (p. ej. *Pinus pinaster* por *P. halepensis* en la S<sup>a</sup> de Tejada y La Almirajara), el fracaso en la regeneración natural de algunas especies forestales (p. ej. *Pinus sylvestris* en la S<sup>a</sup> de los Filabres), fenómenos de decaimiento y mortalidad en diversas especies forestales (por ej. el *P. pinaster* en el Parque Natural de S<sup>a</sup> de Baza<sup>34</sup>), cambios en la fenología de las especies, reducción en la productividad primaria neta de determinadas especies (*Pinus pinaster*<sup>35</sup>), mayor incidencia de plagas forestales asociada a un incremento altitudinal de su área de influencia (por ej., en pino carrasco asociada a ‘*Candidatus Phytoplasma pini*’ en el Parque Natural de S<sup>a</sup> de Baza y en el Parque Nacional de S<sup>a</sup> Nevada<sup>36</sup>), o cambio en la provisión de distintos servicios ecosistémicos<sup>37</sup>. En la Figura 18 se resumen los efectos más importantes del cambio climático en los pinares andaluces.

Dentro de este contexto, la silvicultura adaptativa para el cambio climático 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”<sup>33</sup>. En este texto se aportan algunas líneas estratégicas para la adaptación de ecosistemas de pinar a una escala regional, articulando un conjunto de investigaciones ya realizadas orientadas a las opciones de adaptación, e ilustrándolas con algunos ejemplos de silvicultura a largo plazo.



Figura 18. Principales efectos del cambio climático en los pinares andaluces procedentes de repoblación.

### Instrumentos para la conservación de los pinares mediterráneos en Andalucía: marco normativo

	FORESTAL	BIODIVERSIDAD Y PATRIMONIO NATURAL	ESPACIOS NATURALES
NIVEL 1 Normativo	Ley 2/1992 Forestal de Andalucía Decreto 208/1997 Reglamento Forestal de Andalucía Ley 43/2003 de Montes	Ley 8/2003 de la Flora y Fauna Silvestres de Andalucía Decreto 23/2012 que regula la conservación y uso sostenible de la flora y la fauna silvestres y sus hábitats Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad	Ley 2/1989 del Inventario de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía y se establecen medidas adicionales para su protección Leyes específicas de creación de los Espacios Naturales de Andalucía
NIVEL 2 Planificación	Decreto 23/2012 que regula la conservación y uso sostenible de la flora y la fauna silvestres y sus hábitats Instrucciones Generales de Ordenación de Montes Catálogo de Montes Públicos de Andalucía		PORNs y PRUGs
NIVEL 3 Ordenación	Proyectos de Ordenación y Planes Técnicos de Ordenación de montes Planes sectoriales		
NIVEL 4 Desarrollo y aplicación	Proyectos técnicos-actuaciones 		

Figura 19. Niveles de regulación para la gestión de pinares en Andalucía. De la norma deriva la regulación, y de ésta los instrumentos de planificación en forma de planes y programas. El marco normativo que afecta a la conservación de los pinares en Andalucía es sumamente amplio, pudiendo resultar incluso confuso debido a la proliferación de normas existentes, de ámbito europeo, nacional, autonómico, e incluso local.

## 6.1. SELVICULTURA DE CONSERVACIÓN VS. SELVICULTURA ADAPTATIVA

La selvicultura de conservación y la gestión adaptativa de los pinares de Andalucía se realizan teniendo en cuenta la naturaleza y el origen de los mismos, es decir, dependiendo de si se trata de masas naturales (o repobladas) dentro de su área de distribución natural, o si por el contrario se trata de plantaciones realizadas en el ámbito del dominio potencial de otros ecosistemas.

Para el primer caso se aplica una **selvicultura de conservación**, para la cual se establece el siguiente conjunto de criterios:

- La conservación de las distintas poblaciones naturales que han llegado hasta nuestros días resulta primordial, dado que constituyen parte del patrimonio natural andaluz y son un reservorio de variabilidad genética. Estos reservorios genéticos son fundamentales para la supervivencia de las diferentes especies ante los escenarios de cambio climático que se están produciendo. De igual manera, son útiles para la realización de migraciones asistidas en caso de catástrofes o eventos extremos que pongan en peligro ciertas poblaciones en situaciones límite.
- La selvicultura se enfoca al reforzamiento o ampliación de aquellas masas que han sido mermadas, e incluso desaparecidas localmente, lo que ha implicado un programa de reproducción. En estos casos, el análisis de la posibilidad de cruzamiento con poblaciones o subespecies introducidas implica una gestión encaminada a reducir este riesgo de introgresión procedente de material genético exógeno.
- Seguimiento y control del estado y evolución de estos pinares a modo de observatorios ecosistémicos de los procesos de cambio.
- Dado su origen, se puede plantear para los pinares maduros con esta tipología de masa natural la no intervención, salvo la mínima imprescindible para la perpetuación o protección de éstos<sup>38</sup>.
- Campañas de concienciación social y educativa sobre el conocimiento y la importancia de los pinares autóctonos en el medio natural andaluz.
- Para masas repobladas dentro de su área de distribución natural se plantea una selvicultura de conservación basada en la regulación de competencia y conseguir la máxima naturalización, regeneración y persistencia de la masa.

Respecto a las plantaciones realizadas dentro del ámbito del dominio potencial de otros ecosistemas, se prioriza el criterio de realizar una **selvicultura adaptativa** encaminada hacia su naturalización, pero a la vez optimizando la prestación de servicios ecosistémicos durante este proceso.

Es ampliamente conocido que las elevadas densidades empleadas en la plantación de estos pinares, generalmente monoespecíficos y coetáneos, suponen el estancamiento si no se realizan labores selvícolas intermedias (clareos y claras), sufriendo un elevado estrés ambiental, potenciado por los cambios que se están produciendo a nivel climático. Ello genera los ya conocidos fenómenos de decaimiento y la aparición de plagas y enfermedades en un arbolado con

mergadas capacidades de defensa. Igualmente presentan poca o nula regeneración, muy escasa biodiversidad y grandes acúmulos de combustible que, dadas sus grandes extensiones habituales, están dando lugar a los referidos megaincendios.

Por ello, es necesario que las naturalizaciones de los pinares fuera de sus zonas de distribución natural se dirijan hacia:

- Disminución de la densidad del arbolado mediante claras de intensidad media y alta (siempre que la estabilidad de la masa lo permita) para aumentar la heterogeneidad estructural y la resiliencia del arbolado remanente. Esto permitirá que pueda seguir prestando sus servicios (o mejorarlos) sin menoscabo de un aumento de la diversidad de especies y del regenerado natural del ecosistema de referencia (o del propio pinar) por regeneración pasiva. Existen muchas técnicas para reducir la densidad del arbolado. Una técnica barata y con la que se puede acceder a sitios remotos es la del ‘anillado’, que además permite reducir densidades de arbolado con poca estabilidad y en fases regresivas, dejando los árboles muertos en pie. No hay que olvidar que para una buena naturalización se recomienda dejar una buena proporción de madera muerta en el bosque, tanto en pie como en el suelo<sup>38</sup>.

De singular importancia es la selección de los árboles a cortar, que aunque en general se puedan seleccionar al azar para naturalizar la estructura del bosque, se deben tener también otros criterios, como la eliminación de los árboles más débil o enfermos, así como de aquellas especies que se encuentren fuera de estación o que vayan a estarlo según los futuros escenarios de cambio climático. Por ejemplo, en una repoblación mixta de pino salgareño y silvestre en condiciones extremas sería más conveniente eliminar los pinos silvestres y liberar a los salgareños, pero intentando dejar silvestres siempre que las condiciones microclimáticas lo permitan, por la importancia de la resiliencia que tienen las masas con variabilidad de especies frente a las puras.

- Mejora del balance entre la disponibilidad del agua, la fijación de carbono, y la protección del suelo, ajustando las cortas mediante el desarrollo de modelos de ecohidrología forestal y de balance de carbono. Esto surge a raíz de registrarse un importante descenso en los caudales hídricos en las cabeceras de muchas cuencas hidrográficas de la península durante los últimos 50 años, achacables al aumento natural o artificial de la superficie de bosque. Se considera que este hecho ha aumentado considerablemente la interceptación del agua de lluvia por parte del vuelo, así como la transpiración<sup>39</sup>. De esta forma, recientes investigaciones muestran que en zonas degradadas o semiáridas una cobertura intermedia del bosque con moderada interceptación y evapo-

transpiración puede maximizar la recarga de agua subterránea (teoría de la cobertura arbórea óptima), favoreciendo la infiltración y la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas<sup>40</sup>. De igual manera, se ha comprobado que la plantación de árboles a densidades bajas en zonas de pastos puede reducir la escorrentía superficial al aumentar la infiltrabilidad y macroporosidad de los suelos<sup>41</sup>.

- Aumento del vigor del arbolado y de su capacidad para afrontar plagas, enfermedades y episodios de estrés hídrico o de otra naturaleza. Recientes estudios realizados con dendrometría digital en el monte Cortijo Conejo (Guadix-Granada) han demostrado que las claras y claros aumentan el periodo vegetativo de los árboles remanentes, con lo que incrementan el crecimiento, la sensibilidad y eficiencia climática, y por tanto la resiliencia del sistema<sup>42</sup>. Estos efectos siguieron el gradiente de clara (mejor cuanto más intenso) y además perduraron considerablemente en el tiempo (Fig. 20). Esto está muy relacionado con las condiciones que se generan tras la clara, proporcionando mayor disponibilidad de luz (radiación), humedad y temperatura del suelo.

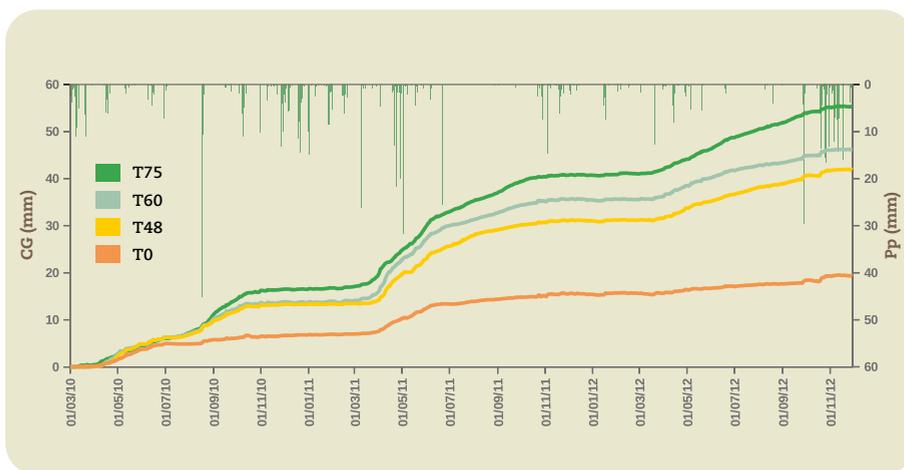


Figura 20: Crecimiento total acumulado (CG) del diámetro normal durante un periodo de 3 años a partir de datos diarios medidos en cuatro árboles por tratamiento mediante dendrómetros digitales. Las barras verticales representan la precipitación diaria. T75= extracción del 75% del área basimétrica media, T60=60%, T48=48%, y T0=sin clara, control<sup>42</sup>.

## 6.2 PRINCIPIOS PARA UNA SELVICULTURA ADAPTATIVA DE PINARES ANDALUCES BAJO RIESGO CLIMÁTICO

Es evidente la escasez de investigaciones científicas sólidas y a escala operativa sobre las alternativas selvícolas para la adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático. Esto limita mucho la experiencia de gestión de diferentes enfoques de adaptación sobre el terreno, y que podrían funcionar para un determinado tipo de ecosistema forestal, como es el caso de los pinares mediterráneos<sup>43</sup>.

Las propuestas más generales definen las actuaciones de silvicultura adaptativa a lo largo de un gradiente de intervención incluyendo la no acción, la resistencia, la resiliencia, y la transición<sup>44</sup> (Fig. 21). Esta estructura básica de opciones de adaptación se acomoda a una variedad de posibles condiciones futuras de cambio climático, en una escala espacial operativa, y a través de una variedad de tipos de ecosistemas. El diseño de los tratamientos específicos en cada tipo de sistema forestal requiere del análisis de las condiciones particulares de cada uno de ellos (por ejemplo los objetivos de gestión, la estructura, la dinámica y

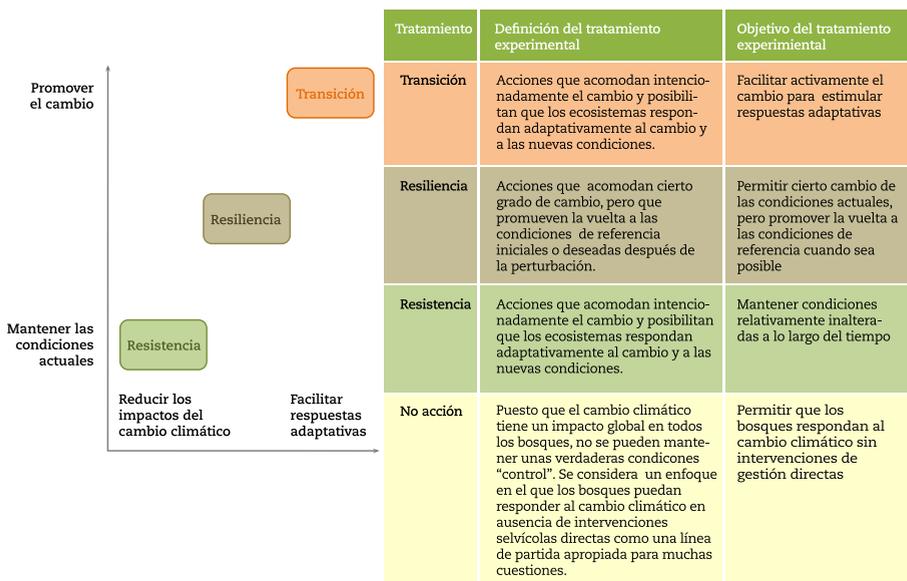


Figura 21. Opciones de modelos de silvicultura adaptativa a lo largo de un continuo de objetivos de gestión relacionados con los niveles de cambio en los atributos del ecosistema (eje vertical) y mecanismos para hacer frente al cambio climático (eje horizontal). Modificado de<sup>44</sup>).

la funcionalidad, etc.), pero sirve como punto de partida para la planificación de actuaciones forestales que, en muchos casos, son muy urgentes en el ámbito de proyectos específicos. No obstante, la selvicultura adaptativa debe aunar los principios propios de la selvicultura (como persistencia, perpetuación y mejora de los sistemas forestales, garantía de sostenibilidad ecológica y económica de la gestión, multifuncionalidad y maximización de servicios y bienes), con las dificultades inherentes a la adaptación de los sistemas forestales al cambio climático. Esto en algunas ocasiones puede resultar muy complejo.

Varios autores han propuesto un conjunto de principios fundamentales para la adaptación de los bosques al cambio climático<sup>45,33</sup> que, con matices, se pueden generalizar a las políticas de adaptación de los pinares de Andalucía (Tabla 2). El desarrollo de estos principios es complejo, debido a las dificultades intrínsecas para su aceptación por diferentes colectivos implicados en la gestión forestal. Aunque existe el debate sobre el papel que el mundo académico y los gestores deben desempeñar para ejecutar de manera eficiente unas medidas de adaptación de los bosques al cambio climático, no siempre se logra una convergencia de los objetivos y de las necesidades de ambos colectivos. Esto no debe limitar la capacidad de acción, urgente por otro lado, sino traer a un primer plano la necesidad de una gestión forestal a largo plazo, apoyada en una sólida base científica, y realista en cuanto a la aplicación práctica de las medidas de gestión.



Foto 7. Troncos de madera apilados tras su corta y desramado.

Tabla 2. Principios fundamentales para la adaptación de los bosques al cambio climático (a partir de 45,33).

Propuestas	Principios	Selvicultura adaptativa	Riesgos	Oportunidades
Acceso a información fiable	Inventarios	Integrar dentro de los inventarios variables relacionadas con la biodiversidad, la dinámica y el estado de los sistemas forestales	Información parcial basada en variables estáticas.	Avanzar hacia inventarios más dinámicos.
	Cartografía	Incorporar técnicas de teledetección (sensores multi e hiperspectrales y LiDAR, de manera conjunta o complementaria) a los inventarios de sistemas forestales	Pérdida de información a escalas de detalle.	Avanzar hacia inventarios tecnológicos de mayor valor informativo.
	Infraestructura de datos	Armonizar la infraestructura de datos a diferentes escalas (IFN, ICP, ordenaciones, etc.)	Incompatibilidad de la información.	Generar sinergias entre inventarios.
Flexibilidad de los modelos selvícolas	Métodos de ordenación	Flexibilizar los tratamientos selvícolas y métodos de ordenación, tanto temporal como espacialmente, que permitan la libertad de adaptar los conceptos de turno, período de regeneración, o posibilidad.	Pérdida o incumplimiento de alguno de los principios de la selvicultura (por ej., persistencia o estabilidad).	Ofrecer estados selvícolas "intermedios" a escala de rodal, y que permitan responder a una amplia e incierta gama de condiciones climáticas futuras (selvicultura de adaptación proactiva).
	Métodos de regeneración	Considerar las cortas de regeneración, ya que en determinadas situaciones algunas especies representan la última etapa de la vegetación arbórea previa a la sustitución por otras formaciones (o bosques "desestructurados").	Fallos generalizados en el establecimiento de la regeneración tras la aplicación de cortas.	Adaptar la selvicultura a una pérdida de estabilidad (persistencia) de las especies principales y a su sustitución por especies secundarias (en el marco de la gestión), aunque esto suponga un retroceso en el óptimo forestal.
Selvicultura orientada a optimizar los servicios ambientales	Selvicultura del C	Selvicultura orientada a optimizar la capacidad de secuestro de C en la vegetación y en el suelo a través de optimizar la gestión de la biomasa y de la materia orgánica del suelo.	Priorizar la selvicultura orientada a la optimización de biomasa.	Contribuir, a través de la selvicultura, al balance global de C a través de los sistemas de compensaciones.
Servicios ambientales	Ecohidrología	Selvicultura orientada a reducir la vulnerabilidad a través de optimizar la gestión del recurso hídrico a escala de cuenca, suelo y vegetación.	Dificultad para obtener información hidrológica y disponibilidad hídrica.	Contribuir de manera directa en la economía del agua a diferentes escalas.
	Biodiversidad	Selvicultura orientada a crear masas multispecíficas, buscando la complementariedad de nichos asociada a un uso diferenciado de los recursos, patrones fisiológicos, herbivoría, etc.	Dificultades de la ejecución de una selvicultura basada en sistemas muy complejos.	Construcción de aprendizaje transdisciplinar combinando selvicultura orientada a crear masas multispecíficas y ecología.

Propuestas	Principios	Selvicultura adaptativa	Riesgos	Oportunidades
Estructuras forestales complejas	Variedad de edades y tamaños en estructuras más complejas	Fomentar la evolución natural de los rodales en función de las posibles variaciones de condiciones ecológicas, favoreciendo procesos como la diferenciación estructural (mosaicos) para crear paisajes más irregulares.	Situaciones con escasa funcionalidad ecológica, dada la limitada variedad estructural de muchos bosques, asociada a su origen artificial.	Favorecer la creación de paisajes forestales de mayor funcionalidad y diferenciación estructural para crear paisajes más resilientes.
	Diversidad estructural y diversificación de todas las especies acompañantes presentes en el bosque	Buscar sistemas forestales más complejos, promoviendo el cambio gradual de estructuras / especies / procedencias hacia aquellas mejor adaptadas al rango futuro de condiciones.	Pérdida de estabilidad por procesos de mortalidad de origen biótico o abiótico.	Favorecer la creación de paisajes forestales de mayor funcionalidad y diferenciación estructural para crear paisajes más resilientes.
Restauración forestal	Restauración ecológica	Promover la realización de repoblaciones multiespecíficas, prestando especial atención a la ubicación de los individuos de cada especie en su nicho actual y potencial óptimo.	Fracasos recurrentes en el establecimiento de especies mediante diferentes métodos basados en los conceptos de repoblación y restauración ecológica.	Favorecer trabajos de restauración a diferentes escalas y niveles de complejidad, evitando grandes acciones restauradoras de éxito dudoso.
	Migración asistida	Favorecer y acelerar la migración de determinadas especies o procedencias hacia aquellos nichos donde ante escenarios de cambio climático serán más competitivas.	Dificultades de selección de materiales de base y procedencias.	Anticipar procesos de degradación o extinción local de las poblaciones de algunas especies.
	Dinámica natural de regeneración y sustitución de especies	Promover la regeneración natural de los sistemas forestales, considerando los escenarios de cambio climático. 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.	Favorecer especies heliófilas frente a especies de sombra si los huecos son excesivamente grandes.	Aprendizaje sobre funcionamiento de núcleos de dispersión naturales para trasladarlo a la restauración forestal mediante la introducción de núcleos de dispersión.
Modelización	Modelos numéricos y estadísticos	Desarrollar modelos numéricos y estadísticos con capacidad para anticipar el riesgo y probabilidad de ocurrencia de los distintos impactos esperados, y ser capaces de identificar señales tempranas de ocurrencia de los mismos para el seguimiento y monitorización tanto del clima como de los impactos sobre los bosques.	Falta de información para generar escenarios realistas.  Criterios para definir la vulnerabilidad.	Aprendizaje sobre cómo incorporar de manera sistemática la incertidumbre en escenarios, criterios de vulnerabilidad y, en general, en estrategias de gestión.
	Integración de los modelos en la planificación	Integrar en los planes de gestión y ordenación forestal los modelos de los mapas de riesgo y vulnerabilidad ante los impactos derivados, así como de los planes de contingencia que definan la respuesta al impacto.	Falta de familiarización desde la gestión con el uso de modelos.	Los modelos constituyen herramientas fundamentales para una gestión anticipativa.
Sanidad forestal	Gestión integral de plagas y enfermedades forestales	Adecuar la estructura de los sistemas forestales (regulación de la competencia, fomento de bosques mixtos, diversificación de estratos vegetales) mediante tratamientos selvícolas y, de ser necesario, con tratamientos fitosanitarios.	Eventos súbitos de mortalidad o pérdida generalizada de especies y/o sistemas.	Favorecer la creación de paisajes forestales de mayor funcionalidad y diferenciación estructural para crear paisajes más resilientes.

## 6.3. EJEMPLOS DE ENFOQUE DE SELVICULTURA ADAPTATIVA SOBRE EL TERRENO

### La dendrocronología como herramienta

La dendrocronología estudia los datos del crecimiento anual de los anillos de árboles y arbustos leñosos con el objetivo de analizar sus patrones a diferentes escalas espaciales (desde pocos km<sup>2</sup> a continentes) y temporales (hasta varios cientos de años); y es una de las ciencias que más utilidad tienen para los estudios de adaptación de ecosistemas forestales al cambio climático. La dendroecología y la dendroclimatología son las subdisciplinas que más aplicaciones tienen en los estudios de selvicultura, y, en particular, de selvicultura adaptativa, al aportar información sobre las relaciones entre las especies estudiadas y el medio ambiente donde se desarrollan. Las técnicas dendrocronológicas se han utilizado tradicionalmente para evaluar los impactos a largo plazo de la acción de uno o varios factores o agentes, como son los agentes bióticos (p. ej. plagas), los factores climáticos (p. ej. sequías severas), factores físicos (p. ej. incendios) o humanos (p. ej. selvicultura). Todas las ramas de la dendrocronología, aunque con variaciones, presentan similares protocolos y metodologías, incluyendo un adecuado diseño de muestreo, la obtención de los cores o secciones, su preparación y la datación.

En Andalucía oriental la mayor parte de estos estudios han evaluado el impacto a largo plazo de las sequías, y la diferente vulnerabilidad de las masas artificiales (repoblaciones) y de las masas naturales<sup>46,47,48,49</sup>. Los resultados han mostrado cómo las plantaciones son más vulnerables al calentamiento después de sequías sucesivas, lo que lleva a un efecto de “estrés acumulativo”. El efecto negativo sobre el crecimiento que tienen las primaveras más cálidas fue más notorio en las plantaciones que en los rodales regenerados naturalmente, reduciendo la resiliencia de los rodales plantados. Por otro lado, las masas de pinar con síntomas de decaimiento mostraron correlaciones significativas y negativas con la evapotranspiración, la temperatura máxima y la radiación anual, en particular de nuevo en masas plantadas, lo que indica su mayor susceptibilidad al estrés por sequía. Sin embargo, en los últimos años se ha visto una convergencia en la respuesta de las masas naturales, mostrando un comportamiento cada vez más similar a las masas de origen artificial, específicamente después de sequías sucesivas (Fig. 22).

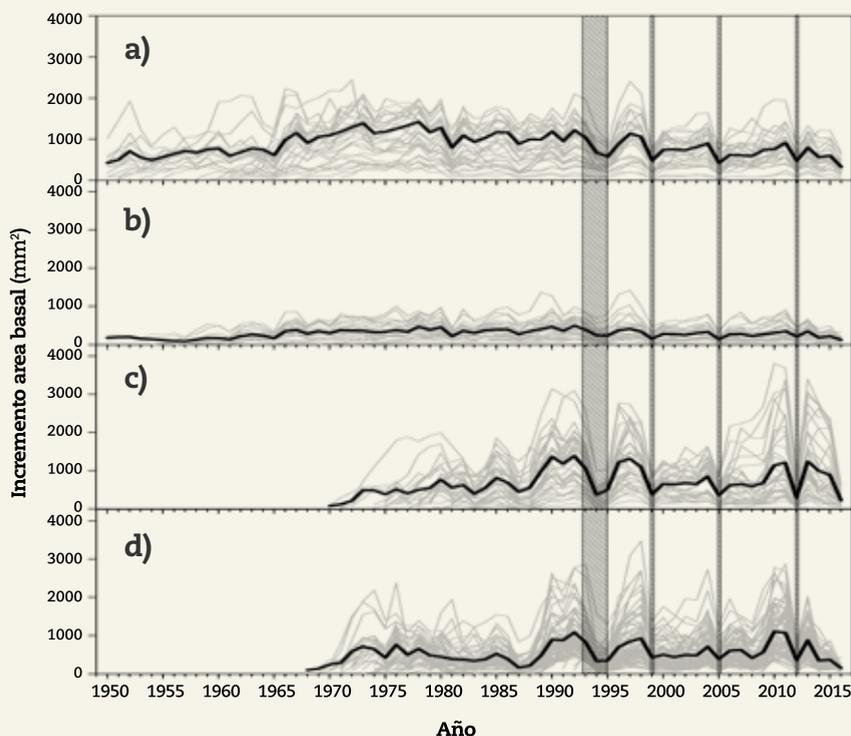


Figura 22. Incrementos del área basal de árboles de *Pinus pinaster* sanos (a, c) y afectados por procesos de decaimiento (b, d) en bosques regenerados naturalmente (a, b) y plantaciones (c, d). Las líneas grises y negras muestran valores individuales y medios, respectivamente. Las líneas punteadas verticales corresponden a las sequías de 1990-1995, 1999, 2005 y 2012.

Por otro lado, los datos dendrocronológicos, y la respuesta a los patrones históricos de diferentes perturbaciones, son esenciales para orientar la silvicultura destinada a garantizar la sostenibilidad de las funciones de los ecosistemas y la biodiversidad. Los resultados obtenidos muestran que la respuesta de las masas forestales a la silvicultura, en particular a las claras, varía significativamente con la especie y con el tiempo, siendo parcialmente independientes entre perturbaciones características. Esta información cuantitativa de la respuesta a perturbaciones, actuales o futuras, y más o menos directamente relacionadas con el cambio climático, proporciona datos de referencia rigurosos para las decisiones actuales orientadas a la conservación de la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas. Estos resultados destacan la necesidad de contar con redes de parcelas permanentes integradas en redes de seguimiento de bosques, y adecuadamente conectadas con parcelas de tratamientos silvícolas más complejos.

## Red de Parcelas de selvicultura adaptativa de pinares orientales

La Red de Parcelas de selvicultura adaptativa de pinares orientales<sup>47</sup> (SilvaClim, Figura 23) tiene como finalidad integrar un conjunto de dispositivos experimentales orientados a poner en práctica estrategias de adaptación al cambio climático específicas para ecosistemas de pinar mediante una red regional e interregional (SilvAdapt<sup>50</sup>). La Red utiliza un gradiente de especies, climas y enfoques adaptativos, basándose en diferentes herramientas y procesos conceptuales (ver cajas de teledetección, p. 31, y dendrocronología, p. 72), para integrar las consideraciones del cambio climático en la gestión y la toma de decisiones sobre selvicultura. En la Red se han diseñado, ejecutado y evaluado una gama de tratamientos selvícolas (principalmente claras) a lo largo de gradientes ecológicos y selvícolas que se adaptan a una variedad de posibles condiciones futuras de cambio climático a una escala espacial operativa.

Además, SilvaClim proporciona a los gestores forestales ejemplos para la integración de las consideraciones del cambio climático en la ordenación y la planificación forestal, mediante modelos/itinerarios de adaptación apropiados a nivel local. Esta Red se integra dentro del Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada, en coordinación con otros Observatorios (Centro Andaluz para el Estudio y Seguimiento del Cambio Global-Universidad de Almería, y Observatorio del Bosque Mediterráneo-Universidad de Córdoba). La intención es seguir ampliando la red de parcelas en Andalucía que utilizan un diseño experimental común, y para los principales sistemas forestales, lo que permitirá comparaciones tanto dentro como entre sitios con diferentes enfoques de manejo adaptativo (Figura 23).

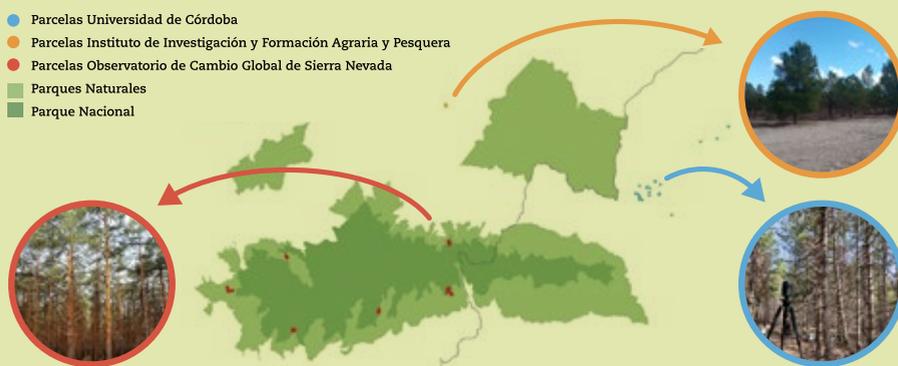


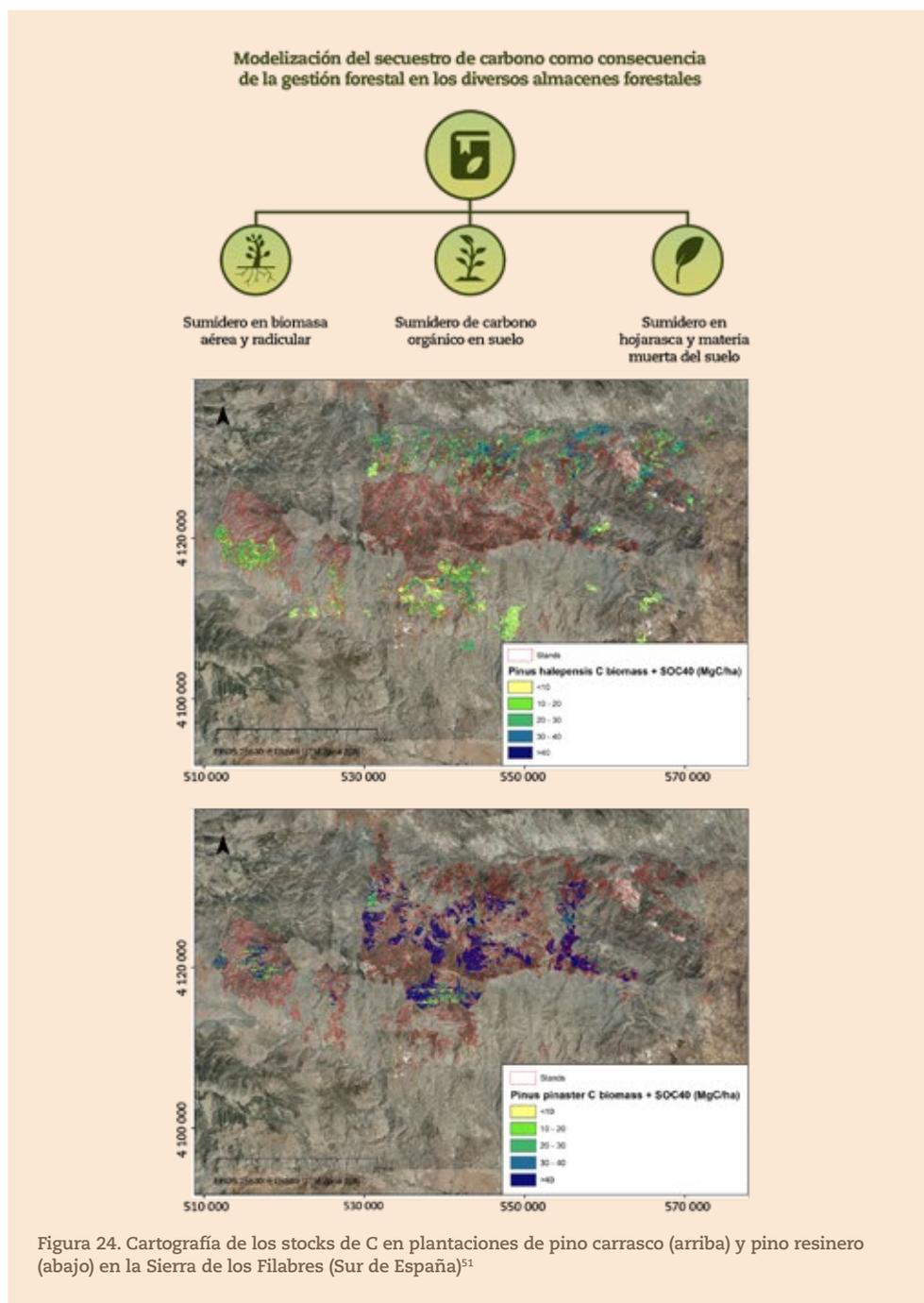
Figura 23: Dispositivo experimental de selvicultura adaptativa en pinares orientales de Andalucía (SilvaClim). Sierra Nevada (lado izquierdo, clima húmedo), Cortijo Conejo (arriba derecha, clima seco) y Sierra de los Filabres (abajo derecha, clima seco). La figura muestra la distribución de las parcelas forestales de ensayos de claras.

## Selvicultura orientada al secuestro de carbono

Los ecosistemas forestales presentan la capacidad de captar y fijar el carbono atmosférico tanto en la vegetación como en los suelos, lo que ha propiciado que sean considerados como importantes sumideros de carbono y cobren una gran importancia en la mitigación del cambio climático. No obstante, la capacidad de captación, fijación y almacenamiento de carbono de estos ecosistemas es temporal y limitada. Su correcta gestión puede desencadenar un mayor o menor almacenamiento de carbono atmosférico. La selvicultura del Carbono hace referencia a aquellas actuaciones que tienen como objetivo optimizar la fijación de carbono de los ecosistemas forestales dentro de una gestión forestal sostenible, que permite alcanzar este objetivo mitigador del ecosistema. Un elemento indispensable para lograr el objetivo mitigador de los ecosistemas es conocer las existencias de carbono presentes en el mismo. En los ecosistemas forestales, el carbono se encuentra confinado como biomasa viva en la masa forestal vegetal, almacenado como biomasa muerta y en el suelo (donde se acumula más de la mitad del C almacenado). Además, un elevado porcentaje del carbono almacenado en los ecosistemas forestales puede ser extraído y reubicado como productos forestales.

La selvicultura del Carbono viene a optimizar este secuestro de carbono, tanto en el suelo como en el vuelo, a la vez que proporciona recursos maderables de más o menos larga duración. El objetivo principal es mantener una cobertura arbórea constante de manera que los aprovechamientos forestales, mediante cortas selectivas de individuos, afecten en la menor medida posible al ciclo del carbono en el ecosistema. No obstante, existen excepciones cuando se extraen productos maderables de alta calidad que son utilizados para la elaboración de productos de madera de larga duración. En este caso, el carbono almacenado en la biomasa viva es retirado por completo del ecosistema y recolocado en la sociedad como enseres cotidianos.

En el proyecto LIFE14 CCM/ES/001271 "LIFE FOREST CO<sub>2</sub>" (*Assessment of forest-carbon sinks and promotion of compensation systems as tools for climate change Mitigation*) se han estudiado diferentes estrategias selvícolas para optimizar la captura de carbono en pinares orientales de Andalucía de pino carrasco y pino resinero (Fig. 24). Así, se han valorado diferentes estrategias como el incremento y conservación de las existencias de biomasa en pie mediante diferentes itinerarios selvícolas; el incremento del carbono fijado en productos de larga duración, y la adecuación de la planificación de la gestión forestal (Proyectos de Ordenación).



## Ecohidrología en sistemas forestales: el caso de estudio de Sierra Nevada

La distribución de la vegetación en zonas de montaña sigue un patrón asociado fundamentalmente a la altitud, por su relación directa con el régimen de temperatura, así como a la disponibilidad de agua, estacional y anual, determinada por la precipitación a escala local. En Sierra Nevada, aunque se producen nevadas a cotas inferiores, es por encima de 1300 m s.n.m. donde se identifica un clima crecientemente alpino, con la línea de árboles a aproximadamente 2400 m s.n.m., con predominio de encinares en la zona menos fría y la presencia de pinares a partir de aproximadamente 1900 m s.n.m., en su mayoría por naturalización de repoblaciones en los años 60 del siglo pasado. A cotas superiores, sólo se encuentran pastizales, matorrales y arbustos de bajo porte típicos de alta montaña mediterránea ya que la nieve desaparece completamente durante el periodo estival, aunque con alguna excepción que cada vez es menos frecuente. La figura 25 recoge la presencia en Sierra Nevada de cubiertas vegetales clasificadas como coníferas, pastizal y matorral, junto con la frecuencia de su distribución en altura.

El régimen de la nieve condiciona la disponibilidad de agua durante el periodo estival, permitiendo un mejor estado y desarrollo de la vegetación en años húmedos y nivosos que aportan lentamente el agua de fusión al suelo y mantienen la vigorosidad incluso hasta el final del verano. La duración del periodo sin nieve permite realizar el seguimiento de la humedad del suelo utilizando el estado de la vegetación estimado a partir de sensores satelitales (valores de NDVI, un índice asociado a la fracción de superficie cubierta) como un inmejorable indicador ecohidrológico de los cambios estacionales del balance hídrico en el suelo pero, también, de su tendencia a largo plazo. Un trabajo reciente mostraba cómo el NDVI en los puntos con matorral al final del periodo seco estival estaba muy bien relacionado con la humedad estimada del horizonte superior de suelo que, a su vez, dependía del volumen de fusión de nieve ese año. Sin embargo, esta relación no se encontraba tan clara en los puntos con coníferas o encinares, que acusaban más el impacto de años extremadamente secos y/o fríos durante algunos años posteriores<sup>52</sup>. El NDVI en pastizal, por su fenología, podría utilizarse como indicador de dicha relación a escala estacional.

Las tendencias observadas y las proyecciones de clima futuro bajo los escenarios de emisiones del IPCC en su Informe 5<sup>53</sup> indican un aumento significativo de la temperatura media anual y una disminución significativa de la duración anual de la nieve, aunque no se pueda concluir que la precipitación anual en forma de nieve esté disminuyendo, sino que su variabilidad depende del año y

la década (Figura 26). En conjunto, todo apunta a un escenario futuro con un periodo con nieve más corto y, combinado con la mayor temperatura, con una menor disponibilidad de agua en el suelo al final de la primavera y durante el verano, con consecuencias sobre la fenología de estas especies. La posible migración en altura de especies arbustivas y arbóreas en un contexto menos frío, pero con ocurrencia de nevadas, impactaría en la duración de la nieve por los intercambios de calor entre los árboles y la capa de nieve; por otra parte, la menor disponibilidad de agua en el suelo durante la primavera y el verano podría favorecer una mayor incidencia de episodios de defoliación, como se ha observado en pinares en zonas próximas en Sierra de Baza<sup>54</sup>. La estrategia de adaptación en el manejo forestal debe contemplar, entre otros, estos aspectos, sobre todo en las bandas de cota donde pinares y encinares compitan, manteniendo densidades de equilibrio, que permitan a su vez proteger los servicios ecosistémicos de provisión y regulación para otras especies vegetales y animales que se ven favorecidas por la cubierta arbórea.

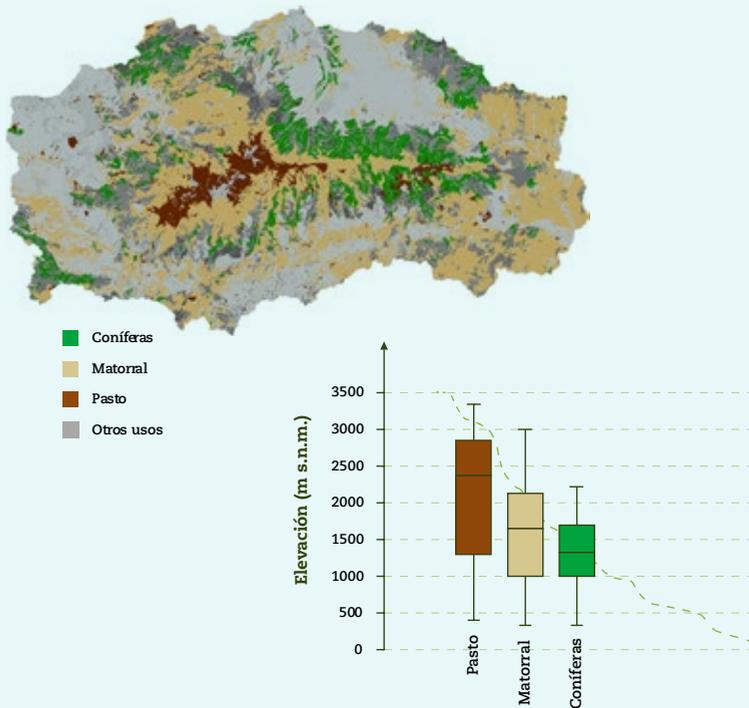


Figura 25. Distribución espacial y en altura de tres cubiertas vegetales representadas como coníferas, matorral y pastizal en Sierra Nevada.

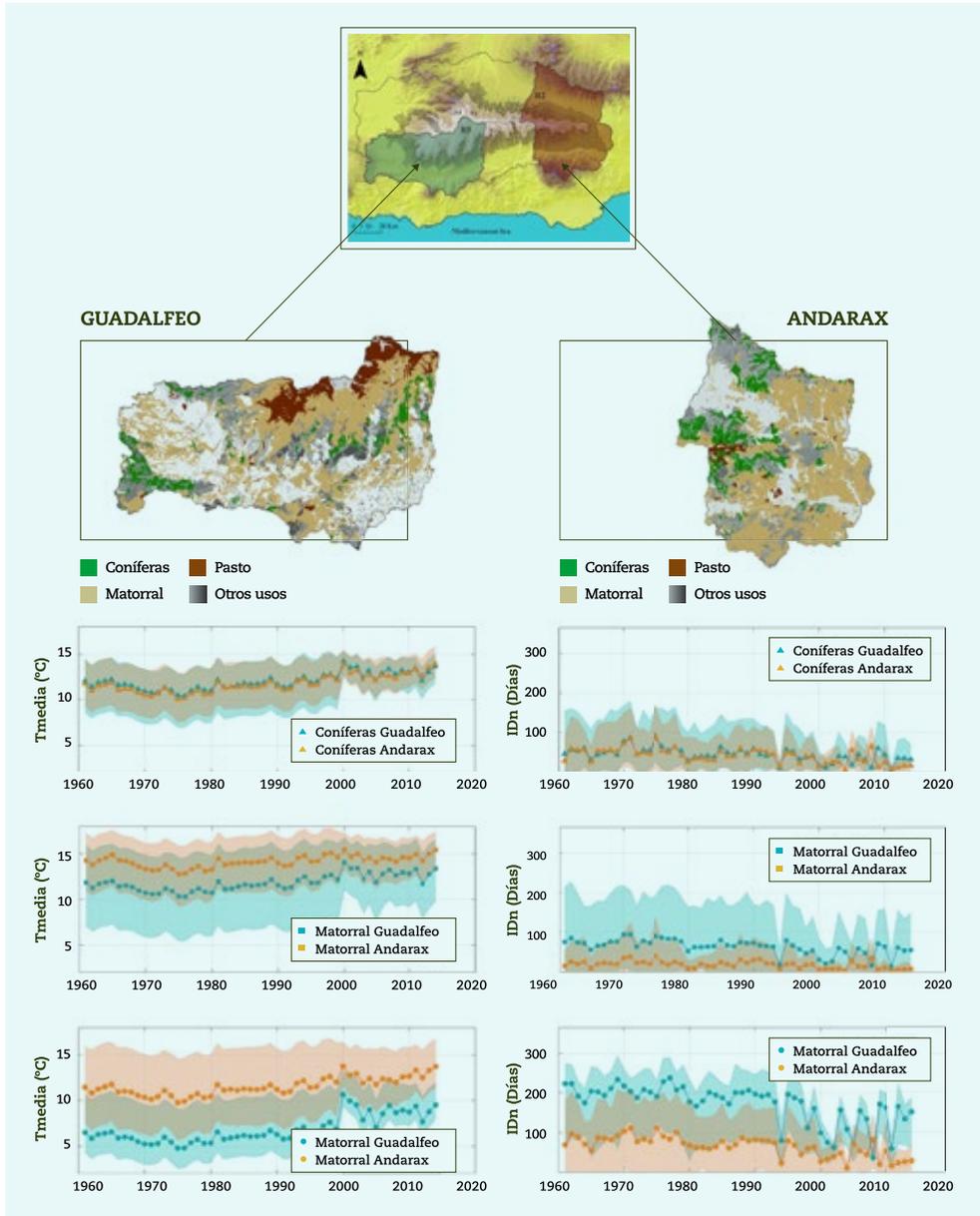


Figura 26. Arriba: localización de las zonas de cabecera de Andarax (derecha) y Guadalfeo (izquierda), junto con la distribución de tres cubiertas de referencia (coníferas, matorral y pastizal); abajo: evolución anual durante el periodo 1960-2015 de la temperatura media anual ( $T_{media}$ , izquierda) y la duración de la nieve ( $ID_n$ , derecha) para cada una de las cubiertas de referencia en cada una de dichas zonas (puntos, valores medios; área sombreada, intervalo de variabilidad comprendido entre los percentiles P10 y P90 para cada variable).

## Selvicultura orientada a la biodiversidad

La modelización selvícola permite orientar la gestión más adecuada en diferentes escenarios, algo que se convierte en una herramienta de gran utilidad, casi imprescindible, en el momento actual. La complejidad de los cambios que están ocurriendo, y la interrelación y retroalimentaciones existentes entre sus efectos, imposibilitan prever con precisión la evolución de los mismos. Todo ello obliga a incorporar la incertidumbre en la planificación de las actuaciones. Los modelos forestales basados en procesos permiten realizar experimentos en los que observar las posibles transformaciones que sufrirán los pinares a lo largo del tiempo. Estos modelos simulan procesos ecofisiológicos a escala de paisaje y ofrecen resultados en términos de producción y biodiversidad. Permiten simular las condiciones climáticas futuras, diferentes escenarios de gestión o la incidencia variable de perturbaciones, constituyendo una herramienta muy útil para estudiar las posibles trayectorias futuras de estas masas forestales.

En un experimento realizado con el modelo LANDIS-II sobre los pinares de repoblación localizados en Sierra Nevada, Sierra de Baza y Sierra de Huétor se observó el efecto a largo plazo de distintos escenarios climáticos y de gestión<sup>37</sup>. Los resultados muestran que, en ausencia de perturbaciones como plagas o incendios (no incluidas en el modelo), estos bosques tenderían a aumentar en biomasa bajo un escenario de cambio climático extremo a lo largo del siglo XXI, mientras que bajo el clima actual, este incremento sería más lento y podría verse disminuido durante las últimas décadas del siglo<sup>37</sup> (Fig. 27). Asimismo, la aplicación de una gestión adaptativa a estas masas, que promueva la dosificación de la competencia y favorezca el desarrollo de masas mixtas con especies del género *Quercus* (ej. *Q. ilex*, *Q. pyrenaica*), limitaría el aumento en biomasa frente a una política de no intervención. Estos resultados, sin embargo, deben tomarse con cautela pues es previsible que de incorporarse el efecto de perturbaciones como incendios o plagas, las respuestas fueran significativamente diferentes.

La tendencia anteriormente descrita para la biomasa afecta de manera diferente a las distintas especies que forman los bosques. A medio plazo, este crecimiento diferencial entre especies modifica la composición del bosque y, a largo plazo, la abundancia relativa de los tipos de bosque. En este sentido, aunque las especies de pino seguirían siendo dominantes en todos los escenarios, se observa un aumento claro de la encina y el roble melojo en algunas zonas (Fig. 27). En los lugares más secos se aprecia un aumento de la proporción de la biomasa total de encinas respecto a la de pinos (*P. halepensis* en la mayoría de los casos). En las zonas más frías y húmedas esta transformación se limita a lugares concretos en los que probablemente hay *Quercus* establecidos en el subpiso o las tasas de reclutamiento son especialmente altas.

Se hace, por tanto, especialmente relevante adaptar los planes de gestión a las condiciones climáticas de cada zona, prestando especial atención a la capacidad de regeneración natural de la especie dominante y orientando la actuación, según el caso, hacia la dosificación de la competencia y facilitación de la entrada de otras especies en aquellas zonas donde esta naturalización se vea especialmente limitada. Además, el incremento en la biomasa total previsto en amplias zonas afectará al riesgo de propagación de incendios forestales, por lo que será necesario su consideración detallada de cara a la prevención frente al fuego.

En definitiva, la selvicultura adaptativa necesita de estos modelos con base ecofisiológica, que incluyen aspectos clave como la biomasa y la biodiversidad, para poder diseñar escenarios de gestión que, incorporando los complejos objetivos actuales (ej. multifuncionalidad, protección de servicios ecosistémicos, etc.) y la incertidumbre existente, puedan orientar su actuación.

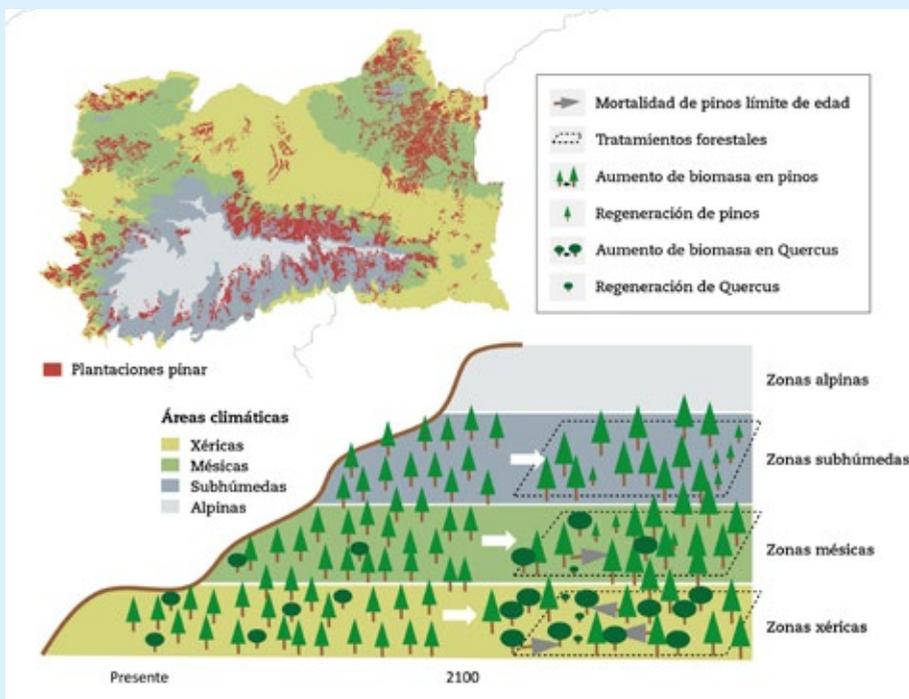


Figura 27. Evolución esperable en los pinares hasta final de siglo para las zonas xéricas, mésicas, subhúmedas y alpinas.

### **Naturalización de pinares en contextos paisajísticos complejos: el caso de Sierra Nevada**

Sierra Nevada alberga en el entorno del Trevenque las poblaciones euroasiáticas más meridionales de pino silvestre<sup>55</sup>, subespecie *nevadensis* Christ<sup>56,57</sup>. Estas poblaciones ocupan un área muy reducida, lo que las hace especialmente vulnerables al riesgo de extinción<sup>57</sup>. En la actualidad, estos pequeños bosques de pino silvestre siguen amenazados por varios factores que dificultan la regeneración natural, como la depredación de semillas<sup>58,59</sup>, las elevadas tasas de mortalidad de plántulas debidas a la sequía estival<sup>60</sup> y la considerable presión de los ungulados sobre los juveniles<sup>61</sup>. A pesar de las dimensiones relativamente reducidas de estos pinares autóctonos, tienen una relevancia ecológica clave por la elevada biodiversidad que atesoran<sup>62</sup>.

En el entorno de los pinares autóctonos de pino silvestre de Sierra Nevada se realizaron plantaciones de pinos en los años 50 y 60, usando semillas de otra procedencia geográfica distinta a la variedad nevadense. Actualmente coexisten los rodales de pino silvestre autóctonos mezclados con rodales de plantación de pinos silvestres foráneos. Para naturalizar dichas plantaciones, aprovechando el reservorio de biodiversidad que albergan los pinares autóctonos de Sierra Nevada, se diseñaron una serie de actuaciones encaminadas a mejorar su capacidad de autoorganización frente al cambio climático. El proceso de naturalización pretende también que las plantaciones de pinos se transformen en formaciones diversas en especies y funciones ecológicas, capaces de suministrar múltiples servicios ecosistémicos a la sociedad. Para ello, se han aplicado diversos tipos de tratamientos en función de las características ecológicas y la historia de manejo de la zona. Así, se han realizado claras en los pinares de repoblación para favorecer los mecanismos de restauración pasivos (dispersión de semillas por animales, dispersión anemócora) que permitan la colonización y establecimiento exitoso de diferentes especies arbóreas y arbustivas dentro de la repoblación. En el marco del Programa de Seguimiento del Cambio Global de Sierra Nevada, se han puesto en marcha diversas metodologías de seguimiento que permiten evaluar el éxito de diversas actuaciones de claras realizadas de manera experimental en pinares de repoblación situados en diferentes cotas altitudinales y contextos paisajísticos de Sierra Nevada, considerando también la proximidad de robledales, encinares y matorrales productores de fruto carnoso. Por otro lado, se ha desarrollado una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que describimos en el siguiente punto de este epígrafe (DiveRpine).

### Modelo conceptual para abordar el problema

La gestión adaptativa de los pinares de repoblación en Sierra Nevada se sustenta en los siguientes aspectos:

1. Tanto el proceso de identificación de los impactos del cambio climático, como la planificación de actuaciones, han estado regidas por **preguntas científicas**<sup>63</sup>. En este caso, las cuestiones científicas tienen que ver con la capacidad de naturalización de las plantaciones de pinos teniendo en cuenta la calidad y complejidad del contexto paisajístico que las rodea, así como la densidad de pinos de la plantación. Este modelo conceptual requiere de información sobre la distribución espacial de las variables dependientes (entrada de especies leñosas autóctonas dentro de la plantación, crecimiento de los juveniles de las especies leñosas dentro de la plantación, etc.) e independientes (clima, topografía, estructura del pinar, densidad, distancia a fuentes donadoras de semillas, uso en el pasado, presencia de especies dispersantes de semillas, etc.)
2. Tras la ejecución de las actuaciones forestales en el territorio es necesario poner en marcha un **programa de seguimiento** para evaluar el resultado de dichos trabajos en un contexto científico. Para ello se han establecido parcelas de seguimiento en los pinares de repoblación donde se han hecho los distintos tipos de tratamientos. Esto permite conocer el efecto real de las actuaciones forestales realizadas sobre la resistencia y resiliencia del pinar en un escenario de cambio climático, y sobre su capacidad de naturalización gracias a la entrada de semillas desde los rodales de vegetación autóctona próximos.

Con la información y conocimiento obtenido es posible diseñar un **sistema de apoyo a la toma de decisiones** que permita conocer los lugares en los que es más adecuado intervenir para maximizar la regeneración bajo el pinar, especialmente en las localidades más secas y/o alteradas, frente a los lugares donde no es necesario intervenir por su mayor calidad ambiental. La herramienta proporciona proyecciones espacialmente explícitas para obtener “mapas de gestión” que orientan la gestión indicando los lugares más adecuados para realizar las actuaciones (ver Fig. 29 *diveRpine*).

## **diveRpine: Diversificación de pinares atendiendo a su estructura interna, el paisaje y los dispersores**

diveRpine (*diveRsification of pine plantations in Mediterranean Mountains*)<sup>64,65</sup> es una herramienta interactiva que simula el modo en que la diversidad de especies vegetales en las repoblaciones forestales varía en función de la configuración del paisaje, la estructura interna de la plantación (i.e. la densidad arbórea, usos pasados del suelo) y el tipo de vectores de dispersión de semillas (aves, mamíferos). La aplicación constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que reproduce la dinámica de los procesos ecológicos forestales. Proyecta la sucesión ecológica más probable en cada rodal en función del contexto ecológico, y visualiza la importancia relativa de los diferentes mecanismos que intervienen en el proceso de naturalización. Las simulaciones resultantes ayudan al gestor a identificar los rodales forestales que más necesitan una intervención (restauración activa), frente a otros rodales en los que la intervención es innecesaria (restauración pasiva).

DiveRpine se ha construido utilizando el lenguaje de programación R y la tecnología Shiny basándose en los resultados de varios trabajos de investigación sobre dispersión de semillas por animales, naturalización de pinares y ecología del paisaje, llevados a cabo principalmente en Sierra Nevada<sup>9,11,62,66,67,68,69,70</sup>. Está disponible para su descarga e instalación en local o para su uso online <https://ajpelu.github.io/diveRpine>.

La aplicación consta de tres módulos conceptuales (Fig. 28) que muestran cómo varía la riqueza de especies en las repoblaciones de pinar en función de: (i) la estructura interna del rodal; (ii) la configuración del paisaje; y (iii) la composición de dispersores. El establecimiento de las especies forestales autóctonas dentro de las plantaciones de pinos depende de la estructura espacial de la plantación<sup>71,67,69</sup>, del tipo de vegetación que rodea a la plantación<sup>72,73,68</sup>, de la disponibilidad de vectores de dispersión de semillas<sup>74,75,68</sup> y de los factores abióticos<sup>67,69</sup>. DiveRpine simula el potencial de recuperación en un contexto paisajístico, y en un marco temporal determinado (10-50 años), para ayudar al gestor a determinar las consecuencias de actuar o no<sup>76,77</sup>. Los usuarios pueden modificar los parámetros en cada módulo (Fig. 29) generando diferentes escenarios y evaluando cómo afectan a la diversidad de la plantación objetivo. Los resultados de las simulaciones pueden expresarse mediante un valor numérico (cambios en el número de especies), y también visualizarse espacialmente en un escenario virtual (Fig. 29).

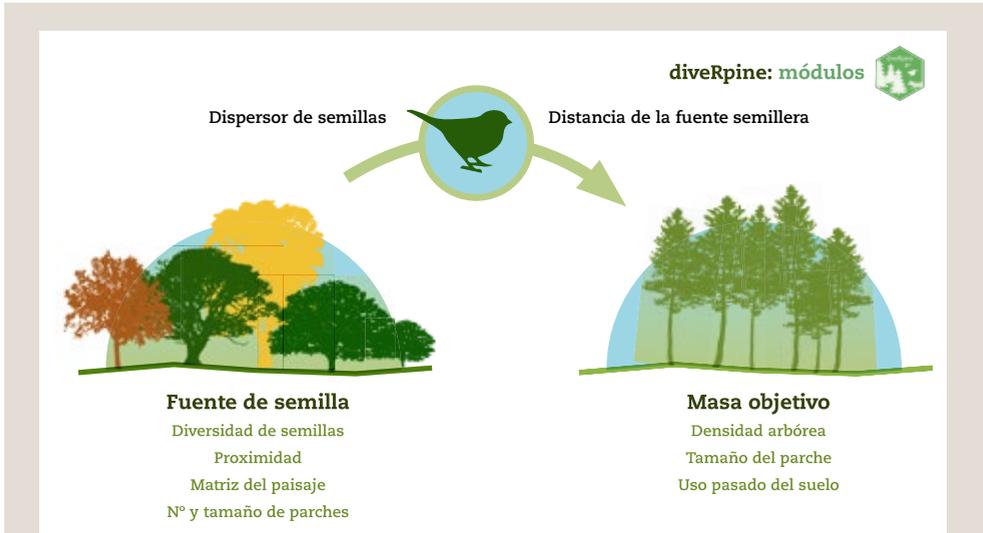


Figura 28. Características del pinar de repoblación, del paisaje de su entorno y de la comunidad de dispersantes que son tenidas en cuenta por diveRpine en el proceso de simulación. Fuente<sup>65,75</sup>.

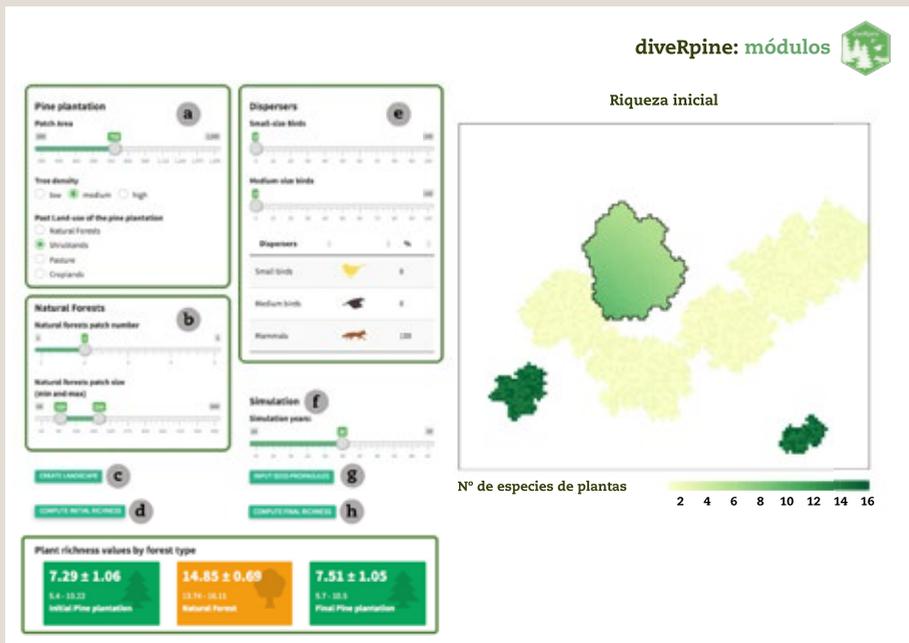


Figura 29: Interfaz de DiveRpine. Parámetros modificables por el usuario (izq) y escenario virtual resultante, en el que se muestra el número de especies de plantas correspondiente a cada mancha de vegetación (dcha).

### **Restauración ecológica tras una perturbación: aprendizaje sobre la gestión post-incendio 10 años después del incendio de Lanjarón (Granada)**

El fuego forma parte de la dinámica natural de los ecosistemas mediterráneos, donde numerosas especies tienen adaptaciones evolutivas que favorecen su regeneración bajo determinado régimen de incendios<sup>78</sup>. Sin embargo, dicho régimen (que se caracteriza por la frecuencia, severidad, temporalidad y extensión de los incendios en una zona) se está viendo alterado por diversos procesos como la transformación de los ecosistemas por parte del ser humano, el aumento en la incidencia de igniciones y el cambio climático. En la cuenca Mediterránea, la gran extensión, densidad y homogeneidad de muchas masas de pinar plantadas en el siglo XX supone un reto especial debido a que generan condiciones óptimas para la propagación del fuego<sup>79</sup>. Las estrategias para gestionar el cambio en el régimen de incendios deberían basarse predominantemente en la planificación, por ejemplo mediante el uso de paisajes en mosaico para evitar masas homogéneas de combustible y mediante el fomento de especies nativas rebrotadoras para aumentar la capacidad de regeneración de las masas en caso de incendio<sup>80</sup>. Sin embargo, una vez ocurrido un incendio, se plantea la pregunta de qué actuaciones pueden favorecer la regeneración del ecosistema y promover la diversificación y adaptación de dichas masas a condiciones cambiantes.

Tras el incendio de Lanjarón en 2005 (Sierra Nevada, Granada) se establecieron parcelas experimentales para estudiar la respuesta del ecosistema a tres tratamientos selvícolas post-incendio a lo largo de un gradiente altitudinal (Fig. 30). Los tratamientos consistieron en (i) la corta de los pinos quemados, el apilamiento de los troncos y el astillado de las ramas, simulando un tratamiento habitual de la extracción de la madera; (ii) la corta del 90% de los pinos, su troceado y desrame, dejando las trozas dispersas por el suelo y (iii) la no intervención. En distintos momentos tras el incendio se estudiaron variables relacionadas con la capacidad de regeneración de las plantas, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en cada tratamiento<sup>81</sup>.

La regeneración natural del pino en rodales dominados por *Pinus pinaster* fue elevada. Las densidades de pino se vieron incrementadas en zonas de intervención intermedia debido a que las actuaciones mecánicas favorecieron la dispersión de semillas. La presencia de los troncos, en pie o dispersos por el suelo, favoreció la supervivencia y crecimiento de las plántulas de pino, probablemente por el aporte de nutrientes mediante la descomposición gradual de la madera y la mejora de las condiciones de humedad y temperatura<sup>82</sup>. Se podría esperar una

respuesta similar, con una buena regeneración por semilla, de otras especies serotinas como *P. halepensis*, siempre y cuando el pinar incendiado fuese lo suficientemente maduro para reproducirse. En contraste, los rodales dominados por especies como *P. nigra* y *P. pinea* son susceptibles de un cambio radical de composición debido a la ausencia de adaptaciones que permitan la regeneración de estas especies tras el fuego. Tal es el caso, por ejemplo, de algunas zonas del incendio de Lanjarón y del de Las Peñuelas (Doñana, 2017). Ello supone un reto para la continuidad de este tipo de masa forestal y, a su vez, una oportunidad para replantear la idoneidad de las grandes masas homogéneas de pinar versus el favorecimiento de masas menos densas, más diversas, más adaptadas al clima del futuro y con mayores probabilidades de regeneración ante perturbaciones impredecibles.

Más allá de la respuesta de las especies dominantes, dos años después del incendio la comunidad vegetal en zonas de extracción de la madera presentó una menor cobertura y diversidad que en zonas de no intervención o intervención intermedia<sup>83</sup>. Además, la composición de la comunidad vegetal se vio modificada por el manejo, por ejemplo con una mayor regeneración de especies leñosas en zonas donde no se extrajo la madera quemada. Un resultado similar se obtuvo para la comunidad de aves, que tendía a asemejarse más a una comunidad de bosque en sitios donde los pinos quemados permanecían en pie y a una de zonas abiertas en las zonas de extracción de la madera<sup>84</sup>. Trabajos posteriores de síntesis de la literatura científica sugieren que estos resultados son aplicables también a otros grupos taxonómicos, a otros tipos de ecosistemas y a la extracción de madera tras otras perturbaciones como las tormentas<sup>85</sup>.

Los cambios en la abundancia, diversidad y composición de especies resultantes de los tratamientos de la madera también conllevan cambios en la provisión de servicios ecosistémicos. En Lanjarón se encontró, por un lado, que el valor económico de la madera no compensó los costes de su extracción y transporte<sup>86</sup>. Por otro lado, extraer la madera supuso una reducción en la provisión de otros servicios ecosistémicos menos tangibles y por ende más difíciles de cuantificar, tales como el secuestro de carbono, la dispersión de semillas y los procesos relacionados con la descomposición de la madera. De nuevo, una pérdida de servicios ecosistémicos más allá de la provisión de madera es un efecto de la saca de la madera extrapolable a otros ecosistemas y perturbaciones<sup>87</sup>.

Como conclusión, la tala post-incendio aplicada a gran escala no necesariamente supone una actuación de restauración, sino que puede producir pérdidas en cuanto a regeneración natural, biodiversidad y servicios ecosistémicos. Puede suponer, incluso, un elemento más del cambio en el régimen de incendios, ya

que se pasa de una situación histórica en la que se regeneraban los ecosistemas tras el fuego sin intervención humana a otra en que dicha regeneración sea precedida de actuaciones mecánicas de corta y extracción de la madera.

Por otro lado, en Lanjarón la replicación de cada uno de los tres tratamientos en nueve parcelas de unas 2 ha supone un ejemplo de cómo el empleo de técnicas diversas de manejo en una misma zona genera un mosaico de condiciones que favorecen un amplio abanico de especies, procesos y servicios ecosistémicos a escala de paisaje. Ello sugiere que se puede priorizar una diversidad de especies y procesos en distintos enclaves mediante la realización de distintos tratamientos en la zona incendiada, incluida la no intervención en buena parte de la misma para favorecer ciertos elementos de biodiversidad, y otros tratamientos, como la saca de la madera por ejemplo, cerca de los caminos para evitar accidentes cuando caigan los árboles. Una sugerencia que aporta la experiencia de Lanjarón es la de evaluar la capacidad de regeneración natural antes de realizar actuaciones post-incendio, evitar que las actuaciones selvícolas post-incendio se realicen de forma homogénea a gran escala y buscar soluciones que promuevan los posibles beneficios generados por el fuego en cuanto a la diversificación de las masas forestales y el favorecimiento de su adaptación al cambio climático.



Foto 8. Aspecto de la zona incendiada en el incendio que se originó en el municipio del Lanjarón ocho años después del incendio.

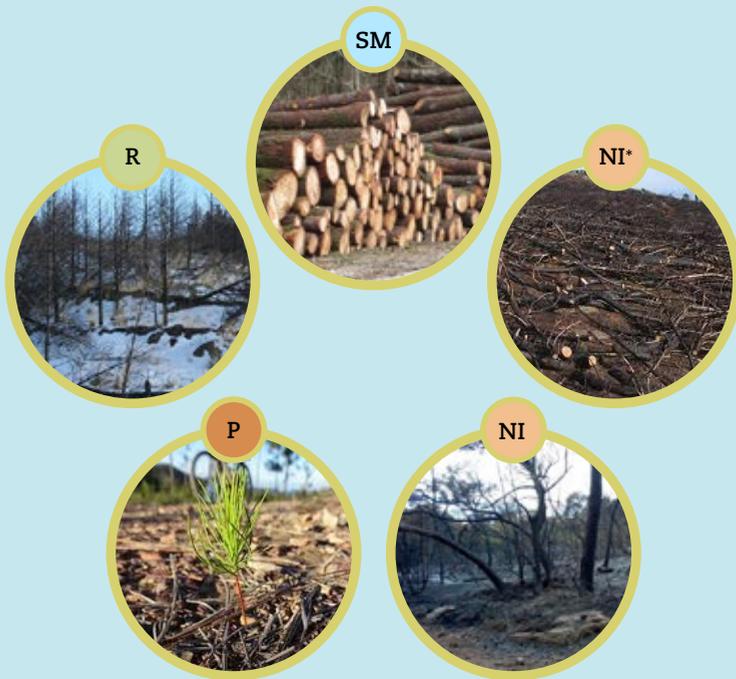
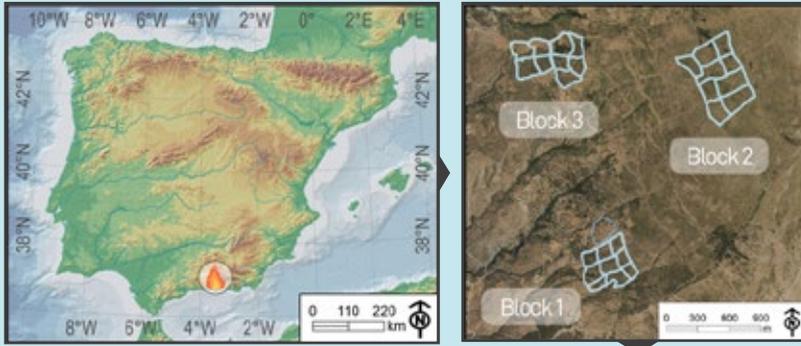


Figura 30. Parcelas de seguimiento instaladas en el incendio ocurrido en Lanjarón en 2005. SM: Saca de la Madera; R= Ramas; NI: No Intervención; NI\*: No Intervención pasados 5 años, cuando todos los pinos se encuentran en el suelo; P: Plantación.



# 07

**ACTUACIONES DE GESTIÓN DE LOS  
PINARES MEDITERRÁNEOS DENTRO  
DEL PROYECTO LIFE-ADAPTAMED**

## GESTIÓN DE PINARES PARA AUMENTAR SU CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

### OBJETIVO

Aumentar la resistencia, resiliencia y protección de servicios ecosistémicos en pinares homogéneos, regulares (una única clase de edad) y poco diversos ante el actual escenario de cambio global.

### ACTUACIONES

Claras selectivas, selvicultura próxima a la naturaleza y selvicultura adaptativa, combinando diferentes intensidades de corta y otras actuaciones orientadas a aumentar la diversidad y heterogeneidad. Actuaciones realizadas en los Espacios Naturales Protegidos de Doñana, Sierra Nevada y Cabo de Gata.



Seguimiento y  
evaluación de la  
efectividad de las  
actuaciones mediante  
teledetección y toma  
de datos en campo



Orientado a la  
recuperación de la  
funcionalidad de los  
ecosistemas



Gestión adaptativa  
con un enfoque  
participativo

## 7.1. ACTUACIONES SOBRE PINARES DE PINO PIÑONERO EN P. N. DOÑANA

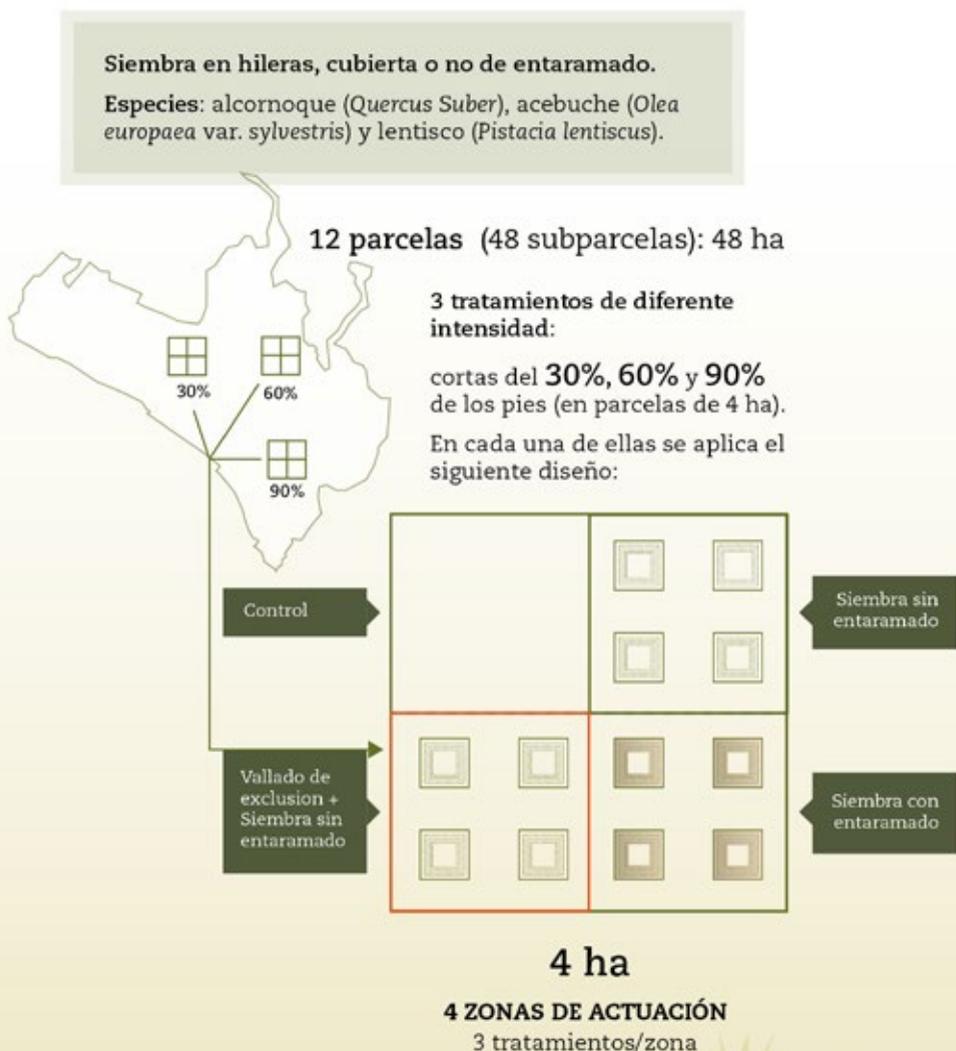
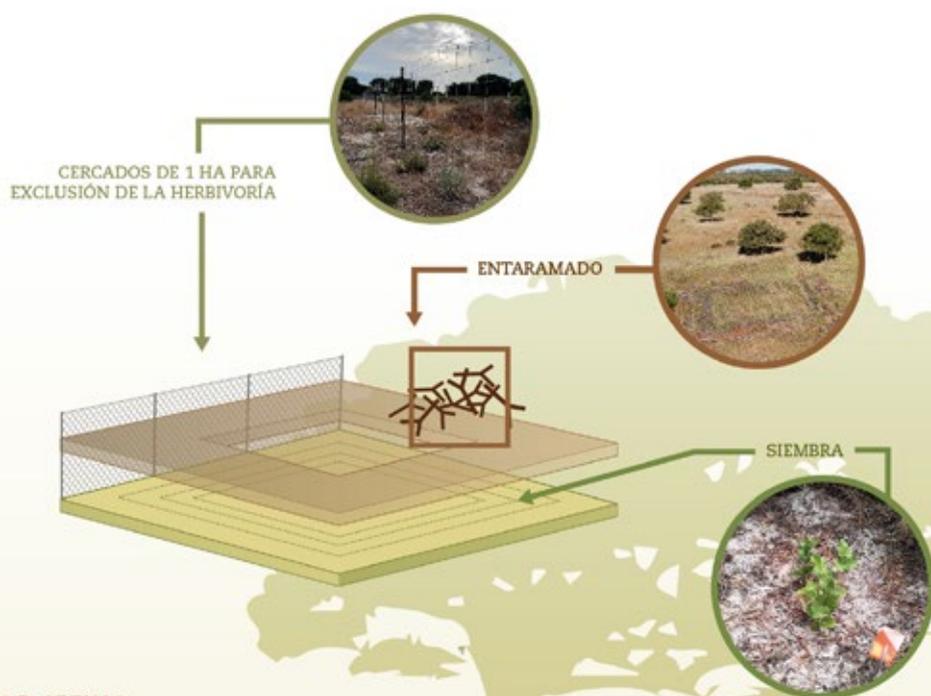


Figura 31: Esquema de actuaciones piloto experimentales realizadas sobre pino piñonero en P. N. Doñana.



## OBJETIVO

Gestión del pinar de pino piñonero (*Pinus pinea*) para favorecer una estructura y funcionalidad con mayor potencial para aportar servicios.

Naturalización de la masa mediante cortas con diferentes intensidades. Combinación con siembra de especies propias del monte mediterráneo (alcornoque, acebuche y lentisco), protegidas de la herbivoría mediante entaramados contruidos con las ramas cortadas a los pinos apeados y vallados de exclusión de ungulados. Las semillas proceden de individuos reproductivos locales para preservar la integridad genética y la vitalidad de las futuras plantas, su mayor capacidad de adaptación al medio y el menor riesgo de propagación de plagas.

## 7.2. ACTUACIONES EN P. N. SIERRA NEVADA SOBRE PINOS SILVESTRE, SALGAREÑO, RESINERO Y CARRASCO

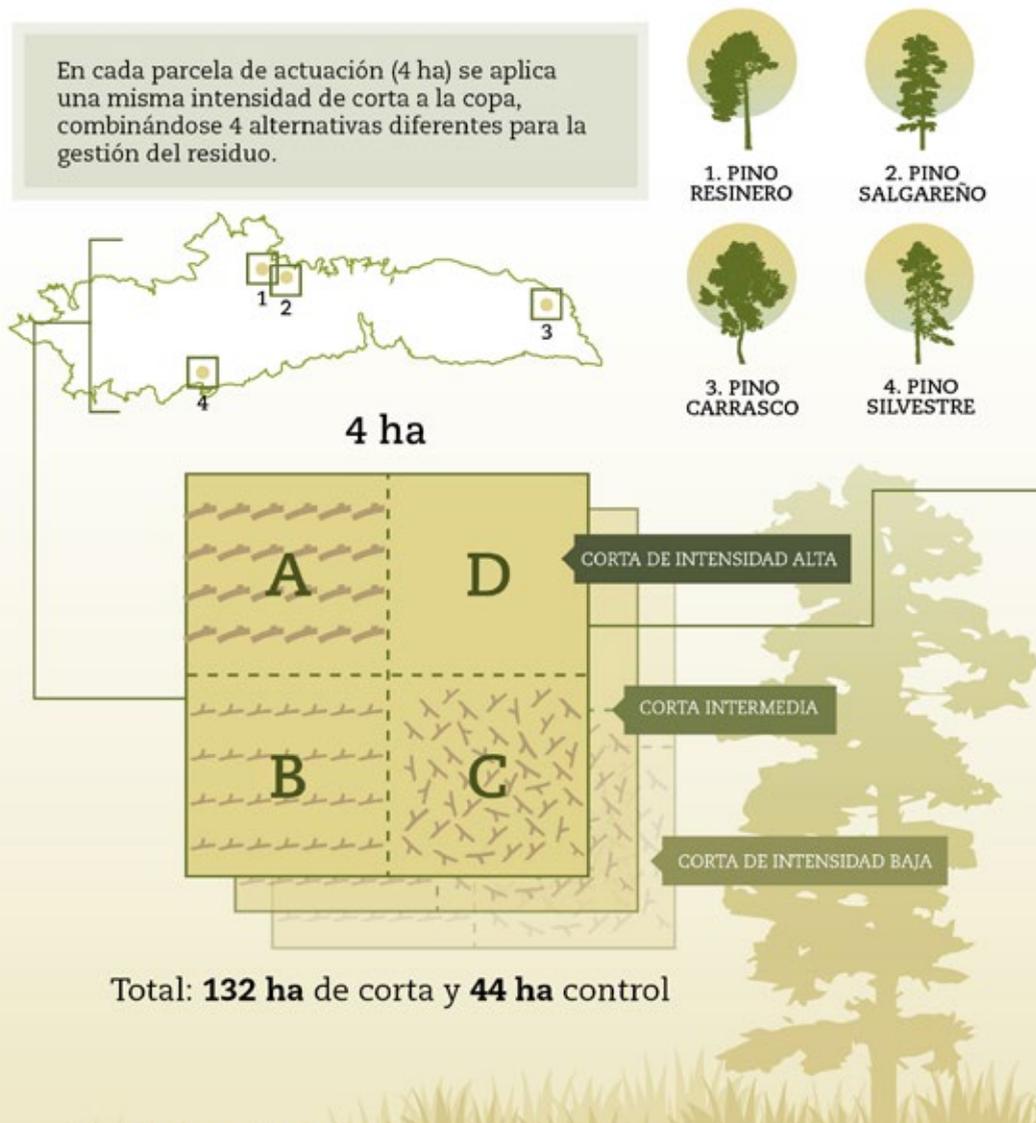


Figura 32: Esquema de actuaciones piloto experimentales realizadas sobre pinares de cuatro especies diferentes en P. N. Sierra Nevada.



## OBJETIVO

Disminuir la competencia y mejorar las condiciones de los pies de porvenir en pinares de pino silvestre (*P. sylvestris*), salgareño (*P. nigra*), resinero (*P. pinaster*) y carrasco (*P. halepensis*) situados en ambientes muy diversos en cuanto a altitud, exposición y condiciones climáticas.

Favorecer la regeneración natural del pino y de otras especies acompañantes arbóreas (encina, roble, arce...) y arbustivas.

## ACTUACIÓN

El tronco de los árboles cortados se extrae para aprovechar su madera. Las ramas (residuo forestal) se mantienen en el ecosistema por ser una importante fuente de nutrientes para el suelo y permitir protección y cobijo. Se pican para facilitar su incorporación al suelo y disminuir el riesgo de incendios.

El diseño experimental permite testar:

- 3 intensidades de corta diferentes (además del tratamiento control, sin corta)
- 4 alternativas de gestión del residuo forestal.

### 7.3. ACTUACIONES SOBRE UN PINAR-ESPARTAL DE PINO CARRASCO EN EL P. N. DE CABO DE GATA-NÍJAR

Ecosistema: pinar-espartal de pino carrasco (*Pinus halepensis*) en una zona muy seca y térmica, en el límite de sus necesidades hídricas. La actuación se realiza conforme a un parcheado, distinguiendo tres tipos de parches:

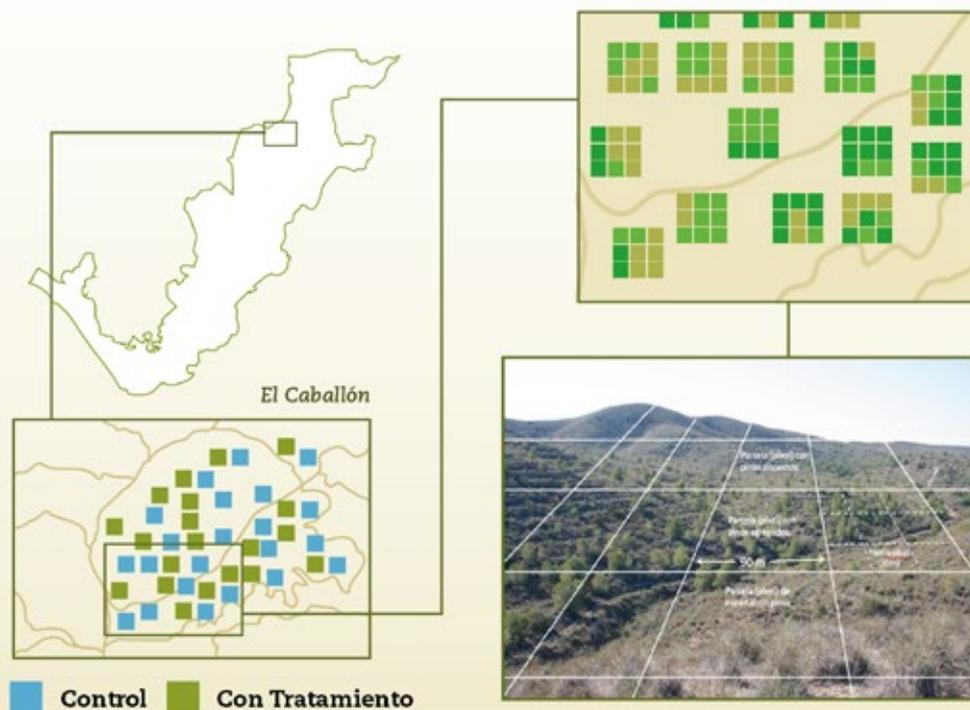


Figura 33: Esquema de actuaciones piloto experimentales realizadas sobre un pinar-espartal de pino carrasco en P. N. Cabo de Gata-Níjar.



Pinar denso

**ACCIÓN:**

**Clareo del pinar**

(corta de algunos pinos en los bosquetes densos)



Pinar disperso

**ACCIÓN:**

**Clareo del pinar +  
Plantación de arbustos**



Escasos pinos

**ACCIÓN:**

**Plantación de arbustos**

**OBJETIVO**

- Gestionar el pinar para crear islas de fertilidad.
- Naturalizar la masa de pinar de repoblación incorporando al pino como una especie más en la formación de islas de fertilidad junto a fruticetas termófilas como estadio estructural y funcional óptimo en las formaciones de espartal.

## 7.4. SEGUIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES

Con el objetivo de evaluar la efectividad de las diferentes actuaciones piloto experimentales descritas, valorando el efecto de las mismas en el mantenimiento y mejora de los servicios ecosistémicos, se han combinado dos tipos de seguimiento con enfoque complementario: el seguimiento a escala de campo y el seguimiento a escala de paisaje, ambos realizados antes y después las actuaciones.

### **Seguimiento ecológico a escala de paisaje**

Supone la obtención de información ecológica para porciones de la superficie terrestre cuyo tamaño oscila desde unas pocas hectáreas hasta algunos kilómetros cuadrados. Permite evaluar cómo se ven afectados por un patrón espacial los procesos ecológicos o las funciones ecosistémicas. Dicho patrón es de gran interés, ya que suele estar vinculado a la existencia de gradientes ambientales o a la estructura en mosaico de la cubierta del suelo. Por otro lado, y particularmente en la región Mediterránea, el paisaje tal y como lo percibimos es además el resultado de la interacción entre los sistemas ecológicos y sociales propios de un territorio.

De esta forma, el seguimiento del funcionamiento de los ecosistemas a esta escala se convierte en un elemento clave para evaluar la respuesta de éstos a los controles ambientales y antrópicos. Para su desarrollo es necesario contar con un conjunto de indicadores fáciles de implementar, sensibles a los cambios que tienen lugar en los ecosistemas a corto, medio y largo plazo, y que permitan obtener información para grandes extensiones del territorio. Las técnicas de teledetección posibilitan esto, empleando índices espectrales relacionados con el intercambio de materia y energía entre la biota y la atmósfera, lo que representa la manifestación integrada del funcionamiento ecosistémico. Los productos de teledetección pueden contribuir en gran medida a caracterizar y monitorizar las funciones de los ecosistemas que subyacen a la provisión de servicios ecosistémicos clave. En Life Adaptamed están siendo usados para evaluar cambios en las ganancias de carbono, el ciclo hidrológico, y el balance energético, relacionado con los efectos de las acciones de gestión. Los detalles se muestran en la Figura 34.

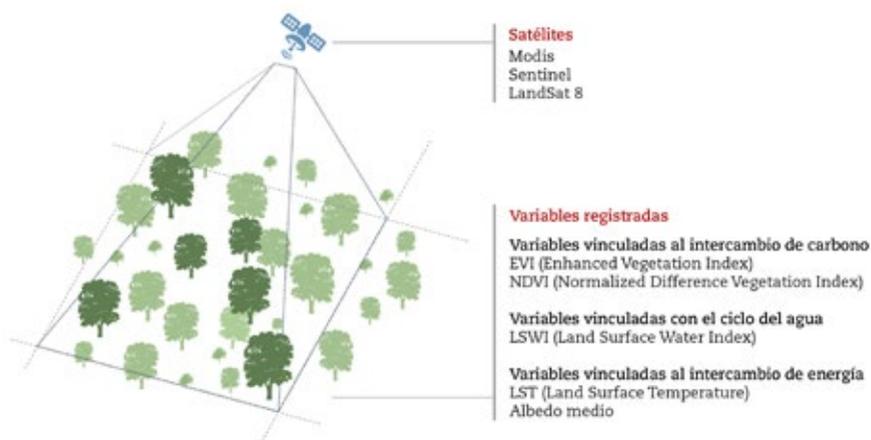


Figura 34. Esquema del seguimiento ecológico a escala de paisaje.

## Seguimiento ecológico a escala de campo

Se ha realizado un seguimiento de diferentes procesos y funciones ecológicas clave vinculadas directamente con los servicios ecosistémicos, tanto en las parcelas tratadas como en las parcelas de control. En cada parcela se cuantifican los siguientes procesos y funciones según la disposición mostrada en la Figura 35:

- Capacidad de almacenamiento de carbono en suelo.
- Evolución de la estructura forestal a partir de inventarios dasométricos y fotografías hemisféricas estereoscópicas, relacionada con la capacidad de almacenamiento de carbono.
- Cambios en la diversidad, en la regeneración y en la estructura espacial de la vegetación.
- Cambios en determinadas comunidades de aves paseriformes y mamíferos carnívoros, que informan acerca de la dispersión de semillas.
- Cambios en la biodiversidad a partir de organismos clave (artrópodos, mariposas y reptiles).
- Cambios en la abundancia y diversidad funcional de los polinizadores.
- Evolución del crecimiento de los árboles mediante técnicas de dendrocronología.

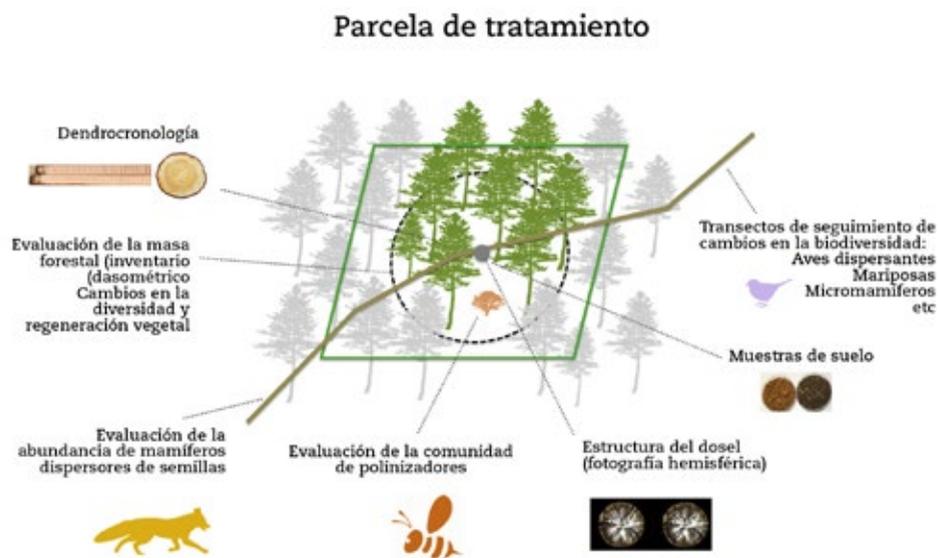


Figura 35. Esquema del seguimiento ecológico a escala de campo.

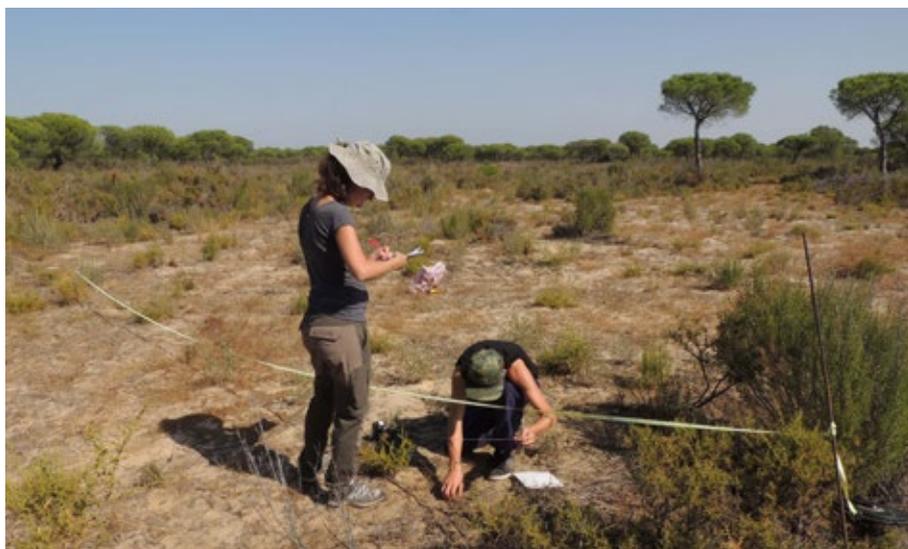


Foto 9. Seguimiento de campo en el P. N. Doñana.



Foto 10. Seguimiento de campo en el P. N. Sierra Nevada, incluyendo muestreo de dendrocronología con barrena de Pressler y toma de fotografías hemisféricas estereoscópicas con dispositivo Foresterio.



# 08

LECCIONES APRENDIDAS  
DEL PROYECTO LIFE Y  
RECOMENDACIONES DE GESTIÓN

## 8.1. APRENDIENDO DEL PROCESO: RECOMENDACIONES TÉCNICAS

Uno de los principales productos del proyecto Life Adaptamed en lo que se refiere a la gestión de las masas de pinar, consiste en incrementar su capacidad de resiliencia para mejorar su capacidad de proveer bienes y servicios ambientales. Para ello se debe implementar una silvicultura adaptativa en sus distintas modalidades, bien instrumentada y planificada en los proyectos de ordenación de montes.

El carácter eminentemente protector de estos pinares condiciona una gestión basada en la eliminación o dosificación de competencia, abordada mediante claras principalmente, para su conversión en masas mixtas, mucho más resilientes ante los estresores ambientales impulsados por el cambio climático. Así, estos ecosistemas incrementarán su multifuncionalidad, con una mayor capacidad de adaptación y menor vulnerabilidad a las tensiones provocadas por el cambio climático.

En ningún caso contemplamos la inacción como gestión. La intervención selvícola es necesaria y debe incrementarse notablemente en los próximos años si queremos evitar el colapso, la destrucción y la merma de servicios ambientales. El papel que realizan estas masas en la regulación del ciclo del agua, en la biodiversidad o como sumideros de CO<sub>2</sub>, es algo esencial e insustituible en el siglo XXI.

El proyecto Life Adaptamed ha permitido definir un marco de actuación que puede resumirse del siguiente modo:

### **En el marco de la planificación**

**a.** Revisión de los Planes Especiales de los Proyectos de Ordenación, incorporando objetivos y criterios que permitan una planificación flexible ante unas condiciones ambientales cambiantes e inciertas, poco predecibles y para cuyo manejo se carece de ensayos previos. Es muy posible que servicios de abastecimiento clásicos (madera, caza, pasto) deban considerarse secundarios, frente a servicios de regulación más necesarios como la conservación de suelos, del ciclo local del agua, de la biodiversidad o de sumidero de CO<sub>2</sub>. La planificación de las cortas debe contar también con flexibilidad. Los modelos selvícolas planificados deben enfocarse hacia la obtención de masas heterogéneas y al fomento de la diversidad como escudos para la adaptación. Estos Planes deben



Foto 11. Una vez apeados y desramados, el autocargador transporta los troncos hasta un lugar accesible al camión que los llevará al aserradero o a la planta de biomasa, dependiendo de la calidad de la madera.

incorporar la referida flexibilidad, permitiendo libertad al gestor para adaptar los conceptos de turno, período de regeneración, o posibilidad, lo que permitirá la aplicación de la silvicultura a escala de rodal.

Los Proyectos de Ordenación y Planes Técnicos de Ordenación deben incorporar técnicas de teledetección (sensores multi e hiperespectrales y LiDAR, de manera conjunta y complementaria) a los inventarios de sistemas forestales.

**b.** La redacción de proyectos de actuación concentrará esfuerzos en actuaciones selvícolas sobre masas de “borde o frontera”, es decir, que se encuentren ante una situación de no retorno y próximas al colapso ocasionado por la acción sinérgica de factores como sequías, plagas o incendios. La silvicultura de pinares afectados por procesos de decaimiento o con un riesgo elevado de mortalidad por factores bióticos o abióticos requiere de una programación muy cuidadosa para incrementar al máximo la resiliencia. Esta silvicultura de masas bajo riesgo climático debe tener en cuenta la programación espacio-temporal de los tratamientos selvícolas para optimizar el uso de las inversiones a escala de rodal<sup>47,88</sup>.

### **En el marco de la gestión**

El camino para lograr el incremento de resiliencia como elemento clave para la adaptación, es favorecer la heterogeneidad y diversidad de las masas forestales. La información existente sobre la naturalización de pinares es amplia. Siempre

se manejan conceptos acertados de incremento de diversidad que permiten una evolución a formaciones más complejas (masas mixtas), de dosificación de competencia como fórmula para obtener mayores crecimientos y facilitar la regeneración natural, mayor estabilidad funcional y proporcionar mayores servicios ambientales.

Los resultados basados en nuestra experiencia son coherentes con la información previa disponible, si bien se considera importante aportar procedimientos metodológicos que involucren la evaluación de servicios ambientales y la propuesta de soluciones técnicas concretas adaptadas a las necesidades existentes.

Es necesario indicar que las masas de pinar de repoblación sobre las que se ha actuado en el proyecto (y que son una representación de miles de hectáreas en situación similar en ambientes mediterráneos) no han tenido una selvicultura adecuada en los estados de masa joven; es decir, no se han realizado clareos en los estados de monte bravo o latizal, por lo que las densidades actuales (con 30, 40 ó 50 años) resultan en su mayor parte elevadas y excesivas. Este hecho hace que nos encontremos con masas coetáneas con escasa capacidad de recuperación frente a perturbaciones. Ante un debilitamiento tan intenso como el que actualmente afecta a muchas de las masas de pinar andaluzas se ha comprobado que la peor alternativa es la denominada adaptación pasiva (no intervención). Numerosos estudios recomiendan las cortas como herramienta para promover la adaptación de los bosques al cambio climático<sup>88,42,33,89,90,91,92</sup>. Realizar cortas de arbolado, es, paradójicamente, la solución adecuada para esta situación. Menos árboles por unidad de superficie es la fórmula para mejorar la funcionalidad, la persistencia del ecosistema forestal, la provisión de bienes y servicios básicos como la protección del suelo, la regulación del ciclo hidrológico o el secuestro de carbono en los pinares mediterráneos. 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<sup>33</sup>. Se trata de orientar la actuación a minimizar el efecto de los impactos más probables o de mayor intensidad, incorporando la incertidumbre en el proceso, y asumiendo que el resultado final puede ser un ecosistema de características diferentes al inicial, pero en el que se mantenga una provisión de servicios que pueden no estar garantizados en caso de una adaptación autónoma fruto de la no intervención.

En ese sentido, se propone una adaptación planificada, orientada a (adaptado de<sup>33</sup>):

- Favorecer la capacidad inherente de adaptación de especies, sistemas y procesos. Para ello, se debe prestar atención y favorecer los procesos naturales.
- Reducir el riesgo de ocurrencia de aquellos procesos ambientales y sociales que aumentan la vulnerabilidad de los sistemas forestales. Por ejemplo, reducir la vulnerabilidad a la propagación de grandes incendios forestales a través de un parcheado o mediante la ruptura de la continuidad horizontal, o reducir la vulnerabilidad frente a las plagas forestales a través de una diversificación del ecosistema.
- Aumentar la resistencia y la resiliencia de los sistemas forestales, dosificando adecuadamente la competencia entre individuos para lograr un aprovechamiento óptimo de los recursos y, como consecuencia de ello, un adecuado estado fisiológico y vigor vegetativo.
- Garantizar la provisión de servicios ecosistémicos, priorizando el mantenimiento de los procesos y funciones del ecosistema frente al mantenimiento de la estructura o composición de la masa.

Life Adaptamed ha ensayado y ha realizado la demostración de cómo se deben realizar estas cortas, que técnicas emplear y qué hacer con las maderas y el abundante residuo vegetal que se produce. El referido debilitamiento estructural de las masas de pinares mediterráneos condiciona cualquier actuación, y en concreto la primera corta o clara. La selvicultura indica cómo realizar ciclos de claras para las distintas especies, pero la situación de partida condiciona notablemente seguir esta opción. Por todo ello, consideramos la necesidad de implementar una selvicultura adaptativa que debe basarse en tratamientos flexibles, tanto en escala temporal como espacial.

## 8.2. APRENDIENDO DEL PROCESO: HACIA UNA GOBERNANZA ADAPTATIVA

La gestión activa colaborativa (cogestión) establece un marco de gestión que acepta la incertidumbre en la toma de decisiones para la gestión de los recursos y procesos naturales. Esta incertidumbre viene provocada por varias causas inherentes tanto a la dinámica de estos sistemas (dinámicas de no equilibrio, impredecibilidad de la ocurrencia de perturbaciones, efectos históricos que generan dependencia de la trayectoria) como a la propia toma de

decisiones (conocimiento imperfecto, conflictos de intereses y competencias, discordancias espacio-temporales), que hacen que, se reconozca o no de forma explícita, cualquier intervención de gestión deba ser concebida como un experimento cuyo éxito tratamos de maximizar pero que a menudo resulta en consecuencias impredecibles o contraintuitivas. Por todo ello, la co-gestión adaptativa enmarca explícitamente sus decisiones en un marco de aprendizaje compartido basado en la continua evaluación y modificación del conocimiento, para la que son imprescindibles tres aspectos: (1) diseñar las actuaciones para evitar efectos sin retorno y para resolver las incertidumbres actuales; (2) establecer objetivos claros y temporalizar su revisión en base a los resultados obtenidos; y (3) monitorizar de forma (económicamente) efectiva los efectos de las actuaciones. Se trata, en resumen, de establecer una dinámica de una gestión en continua actualización que permita testar aquellas alternativas más robustas, evitando ejecutar acciones sin posibilidad de retorno y buscando explícitamente combinar una acción eficiente con un aprendizaje efectivo.



Foto 12. Sierra de Baza, donde el decaimiento de los pinares está suponiendo su transformación hacia un nuevo modelo de bosque.

Establecer una gestión adaptativa implica introducir procedimientos que faciliten el aprendizaje, el entendimiento y una colaboración constructiva de y entre todos los actores implicados en la gestión ('stakeholders'). Los procesos de decisión deben ser, por ello, participativos y deben apoyarse en procedimientos que aseguren la transparencia y el acceso equitativo de todos los actores a todos los conocimientos y datos disponibles, combinados con técnicas de síntesis de conocimiento. Deben ser ciclos iterativos de acción-aprendizaje.

Este tipo de actuación entronca directamente con una cultura de gobernanza adaptativa, considerada de forma cada vez más generalizada como un elemento clave para asegurar la adaptabilidad y la resiliencia de nuestras sociedades y ecosistemas a las impredecibles dinámicas que está desencadenando el cambio global. Por ello, uno de los objetivos de Life Adaptamed ha sido contribuir a mejorar la toma de decisiones en los Espacios Naturales Protegidos integrados en el proyecto, propiciando un marco de participación y responsabilidad compartida entre la población local, políticos, científicos y gestores que contribuya a mejorar el conocimiento sobre la gestión para la adaptación al cambio climático, y generando espacios de innovación y aprendizaje compartido entre todos ellos. La cultura de la gobernanza es clave para impulsar la dinamización social con una visión sostenible, capaz de identificar las actividades socioeconómicas que presentan una mayor capacidad de adaptación a los cambios.

Los espacios protegidos, y en concreto los espacios Life Adaptamed, constituyen enclaves ideales para implementar, impulsar y mejorar estas dinámicas de trabajo. La confluencia de intereses muy diversos, muchos de ellos ligados al desarrollo, en torno a la exigencia social y legal de conservación de los procesos y valores naturales hace, por un lado, que emerjan los numerosos conflictos asociados al desarrollo de forma explícita; pero representa, por ese mismo motivo, un área ideal de interacción, aprendizaje y negociación para la resolución de dichos conflictos. Los mecanismos existentes, como los espacios de participación de las diferentes áreas protegidas, ofrecen un primer espacio de intercambio sobre el que construir activamente estas dinámicas. El proyecto Life Adaptamed ha tratado de aprovechar al máximo tanto estos espacios como los elementos de innovación técnica y social asociados a las diferentes actuaciones desarrolladas, con el fin de iniciar un cambio de dinámica que permita consolidar nuevos modelos de gestión en el futuro inmediato.



# 9

## REFERENCIAS

1. Consejería de Medio Ambiente, 2010. Acuerdo de 7 de septiembre de 2010, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la adecuación del Plan Forestal Andaluz Horizonte 2015. BOJA N° 187.
2. Gil L.; Pardos, J.A., 2008. Pinares y rodenales. La diversidad que no se ve. Real Academia de Ingeniería, Madrid. 202 pp.
3. Vadell E.; De Miguel S.; Pemán J., 2019. La repoblación forestal en España: las especies utilizadas desde 1877 a partir de las cartografías forestales. *Historia Agraria* 77, 107-136.
4. Amaral, J., 1986. Pinus. En: Castroviejo, S., Laínz, M., López, G., Montserrat, P., Muñoz-Garmendia, F., Paiva, J., Villar, L. (Eds.). Flora ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. I. Lycopodiaceae-Papaveraceae, pp. 168-174. CSIC, Madrid.
5. Carrión, J. S., Fernández, S., González-Sampérez, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., Burjachs, F., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162(3), 458-475.
6. Guzmán, J. R., Seseña, A., Venegas, J., Sillero, M. L. y Rodríguez, J. A. 2013. Autoecología de las principales especies de Pinus en Andalucía. 6CFE01-032, SECF.
7. Guzmán J.R.; Venegas J., 2019. El pino negral: pasado, presente y preparación del futuro de un pino mediterráneo. EN: Fundación HAZI Fundazioa (ed.), Nuevas perspectivas del pino pinaster en España, pp. 95-186. Álava.
8. Alejano R. Martínez, E., 2006. Aportaciones de la paleobotánica a la interpretación del área natural de *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* en las Sierras Béticas (sureste de España). *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* (Fuera de serie), 124-136.
9. Gómez, J. M., 2003. Spatial patterns in long-distance dispersal of quercus ilex acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography*, 26(5), 573-584. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03586.x>
10. Herrera, C.M., 1984. A Study of Avian Frugivores, Bird-Dispersed Plants, and Their Interaction in Mediterranean Scrublands. *Ecological Monographs*, 54: 1-23. <https://doi.org/10.2307/1942454>
11. Matías, L., Zamora, R., Mendoza, I., Hódar, J. A., 2010. Seed dispersal patterns by large frugivorous mammals in a degraded mosaic landscape. *Restoration Ecology*, 18(5), 619-627. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00475.x>
12. Gil-Sánchez, J. M., Barea-Azcón, J. M., Jaramillo, J., Herrera-Sánchez, F. J., Jiménez, J., Virgós, E., 2020. Fragmentation and low density as major conservation challenges for the southernmost populations of the European wildcat. *PLoS One* 15(1): e0227708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227708>
13. Simón, M. et al. 2012. Diez años de conservación del linco ibérico. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
14. Ruiz, M. E., Lobo, J. M., Ramos, M. A., 2002. Riqueza faunística de la península ibérica e Islas Baleares. El proyecto fauna ibérica. In *La diversidad biológica de España*. Pp. 197-208. Prentice Hall.
15. Chapman, A. D., 2009. *Numbers of Living Species in Australia and the World* (2nd ed.). Canberra: Australian Biological Resources Study. pp. 1-80. ISBN 978-0-642-56861-8.
16. Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
17. Hahn, M., Brühl, C. A., 2016. The secret pollinators: an overview of moth pollination with a focus on Europe and North America. *Arthropod-Plant Interactions* 10, 21-28. <https://doi.org/10.1007/s11829-016-9414-3>
18. Ruiz de la Torre, J., Carreras, C., García, J. I., Ortí, M., 1996. *Manual de Flora para la Restauración de Áreas Críticas*. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sevilla.

19. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España, 2011. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España. Síntesis de resultados. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
20. Torres, I., Moreno, J., Morales-Molino, C., Arianoutsou, M., 2021. Ecosystem Services Provided by Pine Forests. In: Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Pp. 617-629. October 2021. 10.1007/978-3-030-63625-8\_29.
21. Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M., 2005. Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
22. Martín-Peinado, F. J., Navarro, F. B., Jiménez, M. N., Sierra, M., Marínez, F. J., Romero-Freire, A., Rojo, L., Fernández-Ondoño, E., 2016. Long Term effects of pine plantations on soil quality in southern Spain. *Land Degradation and Development* 27: 1709-1720.
23. Figueroa, E., 2010. Valoración Económica Detallada de las Áreas Protegidas de Chile. Proyecto GEF-MMA-PNUD. Santiago, diciembre
24. Orenstein, D. E., 2021. The Cultural Ecosystem Services of Mediterranean Pine Forests. In: Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Chapter 30. Pp.631-655. October 2021. 10.1007/978-3-030-63625-8\_29.
25. Gutiérrez-Hernández, O., Senciales-González, J. M., García-Ferández, L.V., 2016. Evolución de la superficie forestal en Andalucía (1956-2007). Procesos y factores. *Revista de Estudios Andaluces*, vol. 33 (1): 111-148. <http://dx.doi.org/10.12795/rea.2016.i33.06>
26. Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2011. Medio siglo de cambios en la evolución de usos del suelo en Andalucía. 1956-2007.
27. Guerrero, J. M., 2022. Impacto del cambio climático en pinares de Andalucía a partir de escenarios locales de cambio climático actualizados al 5º informe del IPCC. Informe interno no publicado, consultable en url: [https://www.lifeadaptamed.eu/wp-content/uploads/2022/10/20220310\\_Gestion\\_Pinar\\_AportacionesJuanjoGuerrero.web\\_.pdf](https://www.lifeadaptamed.eu/wp-content/uploads/2022/10/20220310_Gestion_Pinar_AportacionesJuanjoGuerrero.web_.pdf)
28. Red de Información Ambiental de Andalucía, 2015. El clima de Andalucía del siglo XXI. Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía actualizados al 5º Informe del IPCC (ELCC5). Agencia de Medio Ambiente y Agua. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía. 118 pp.
29. Hódar, J. A., Zamora, R., Cayuela, L., 2012. Climate change and the incidence of a forest pest in Mediterranean ecosystems: Can the North Atlantic Oscillation be used as a predictor? *ClimaticChange* 113:699-711.
30. Linares, J. C., Senhadji, K., Herrero, A., Hódar, J. A., 2014. Growth patterns at the southern range edge of Scots pine: Disentangling the effects of drought and defoliation by the pine processionary caterpillar. *Forest Ecology and Management* 315:129-137.
31. 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.
32. Ruiz-Benito, P., Herrero, A., Zavala, M. A., 2013. Vulnerabilidad de los bosques españoles frente al Cambio Climático: evaluación mediante modelos. *Ecosistemas* 22(3), 21-28.
33. Calama Sainz, R., 2017. La gestión forestal como herramienta para la adaptación al cambio climático: ¿realidad o ficción científica? *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 43, 59-90.
34. Rodríguez-Vallejo, C., Navarro-Cerrillo, R. M., 2019. Contrasting response to drought and climate of planted and natural *Pinus pinaster* Aiton forests in Southern Spain. *Forests* 10(7), 603.

35. Bravo-Oviedo, A., Gallardo-Andrés, C., del 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(10), 2036-2048; <https://doi.org/10.1139/X10-143>
36. Trujillo-Toro, J., Navarro-Cerrillo, R. M., 2019. Analysis of site-dependent *Pinus halepensis* Mill. defoliation caused by '*Candidatus phytoplasma pini*' through shape selection in Landsat time series. *RemoteSensing* 11(16), 1868.
37. Suárez-Muñoz, M., Bonet-García, F.J., Navarro-Cerrillo, R., Herrero, J., Mina, M. 2023. Forest management scenarios drive future dynamics of Mediterranean planted pine forests under climate change. *Landscape Ecology* 38, 2069–2084. <https://doi.org/10.1007/s10980-023-01678-y>
38. EUROPARC-España, 2020. Bosques maduros mediterráneos: características y criterios de gestión en áreas protegidas. Ed. Fundación Fernando González Bernáldez, Madrid. 141 pp.
39. Gallart, F., Delgado, J., Beatson, S. J. V., Posner, H., Llorens, P., Marcé, R., 2011. Analysing the effects of global change on the historical trends of water resources in the headwaters of the Llobregat and Ter river basins (Catalonia, Spain). *Physics and the Chemistry of the Earth* 16, 655-661.
40. Ilstedt, U., Bargués, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Malmer, A., 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports* 6(1), 1-12.
41. Benegas L., Ilstedt, U., Roupsard, O., Jones, J., Malmer, A., 2014. Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 183, 185-196.
42. Jiménez, M. N., Navarro, F. B., Sánchez-Miranda, A., Ripoll, M. A., 2019. Using stem diameter variations to detect and quantify growth and relationships with climatic variables on a gradient of thinned Aleppo pines. *Forest Ecology and Management* 442, 53-62.
43. Vilà-Cabrera, A., Coll, L., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., 2018. Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: A synthesis of evidence. *Forest Ecology and Management* 407, 16-22.
44. Nagel, L. M., Palik, B., Battaglia, M., D'Amato, A., Guldin, J., Swanston, C., Janowiak, M., Powers, M., Joyce, L., Millar, C., Peterson, D., Ganio, L., Kirschbaum, C., Roske, M., 2017. Adaptive silviculture for climate change: a national experiment in manager-scientist partnerships to apply an adaptation framework. *Journal of Forestry* 115(3), 167-178.
45. García-Guemes, C., Calama, R., 2015. La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. Capítulo 46 en Herrero, A. & Zavala M. A. (eds). *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Magrama. Pp 501-512.
46. Navarro-Cerrillo, R. M., Rodríguez-Vallejo, C., Silveiro, E., Hortal, A., Palacios-Rodríguez, G., Duque-Lazo, J., Camarero, J. J., 2018. Cumulative drought stress leads to a loss of growth resilience and explains higher mortality in planted than in naturally regenerated *Pinus pinaster* stands. *Forests* 9(6), 358.
47. Navarro-Cerrillo, R. M., Sánchez-Salguero, R., Rodríguez, C., Lazo, J. D., Moreno-Rojas, J. M., Palacios-Rodríguez, G., Camarero, J. J., 2019. Is thinning an alternative when trees could die in response to drought? The case of planted *Pinus nigra* and *P. sylvestris* stands in southern Spain. *Forest Ecology and Management* 433, 313-324.
48. Sánchez-Salguero, R., Navarro, R. M., Camarero, J. J., Fernández-Cancio, Á., 2010. Drought-induced growth decline of Aleppo and maritime pine forests in south-eastern Spain. *Forest Systems* 19, 458-470, doi:10.5424/fs/2010193-9131.
49. Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R.M., Swetnam, T.W., Zavala, M. A., 2012. Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management* 271, 158-169, doi:10.1016/j.foreco.2012.01.040.

50. Molina, A. J., Navarro-Cerrillo, R. M., Pérez-Romero, J., Alejano, R., Bellot, J. F., Blanco, J. A., Del Campo, A. D., 2021. SilvAdapt. Net: A Site-Based Network of Adaptive Forest Management Related to Climate Change in Spain. *Forests* 12(12), 1807
51. Navarrete-Poyatos, M. A., Navarro-Cerrillo, R. M., Lara-Gómez, M. A., Duque-Lazo, J., Varo, M. D. L. A., Palacios, G., 2019. Assessment of the carbon stock in pine plantations in southern Spain through ALS Data and K-Nearest Neighbor Algorithm based models. *Geosciences* 9(10), 442.
52. Gómez-Giráldez, P. J., Aguilar, C., Polo, M. J., 2014. Natural vegetation covers as indicators of the soil water content in a semiarid mountainous watershed. *Ecological Indicators* 46, 524-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.024>
53. Pérez-Palazón, M.J., Pimentel, R., Polo, M.J., 2018. Climate trends impact on the snowfall regime in Mediterranean mountain areas: future scenario assessment in Sierra Nevada (Spain). *Water* 10, 720. <https://doi.org/10.3390/w10060720>
54. Ariza, A. J., Navarro-Cerrillo, R. M., Bonet-García, F. J., Pérez-Palazón, M. J., Polo, M. J., 2019. Integration of a Landsat time-series of NBR and hydrological modeling to assess *Pinus pinaster* Aiton forest defoliation in south-eastern Spain. *Remote Sensing*, September 2019.
55. Boratynski, A., 1991. Range of natural distribution. In: Giertich, M., Mátyás, C. (Eds.), *Genetics of Scots Pine*, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 19-30.
56. Molotkov, P. I., Patlaj, I. N., 1991. Systematic position within the genus *Pinus* and intraspecific taxonomy. *Developments in Plant Genetics and Breeding* 3, 31-40. Elsevier.
57. Blanca, G., Cueto, M., Martínez-Lirola, M. J., Molero-Mesa, J., 1998. Threatened vascular flora of Sierra Nevada (southern Spain). *Biological Conservation* 85, 269-285.
58. Castro, J., Gómez, J. M., García, D., Zamora, R., Hódar, J. A., 1999. Seed predation and dispersal in relict Scots pine forests in southern Spain. *Plant Ecology* 145:115-123.
59. Matías, L., Mendoza, I., Zamora, R., 2009. Consistent pattern of habitat and species selection by post-dispersal seed predators in a Mediterranean mosaic landscape. *Plant Ecology* 203:137-147.
60. Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., 2004. Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology* 92:266-277.
61. Zamora, R., Gómez, J. M., Hódar, J. A., Castro, J., García, D., 2001. Effect of browsing by ungulates on sapling growth of Scots pine in a Mediterranean environment: consequences for forest regeneration. *Forest Ecology and Management* 144:33-42.
62. Pérez-Luque, A. J., Bonet, F. J., Pérez-Pérez, R., Aspizua, R., Lorite, J., Zamora, R., 2014. Sinfonevada: Dataset of floristic diversity in Sierra Nevada forests (SE Spain). *PhytoKeys* (35), 1-15. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.35.6363>
63. Lindenmayer, D. B., Likens, G. E., 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in ecology & evolution*, 24(9), 482-486.
64. Perez-Luque, A. J., Zamora, R., 2020. diveRpine: diversification of pine plantations in Mediterranean mountains. A shiny app to help forest decision makers (v1.0.1) [Computer software]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3697818>
65. Pérez-Luque, A. J., Zamora, R. 2023. diveRpine: Diversification of pine plantations in Mediterranean mountains. An interactive R tool to help decision makers. *Ecological Indicators*, 147: 110021 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110021>

66. Gómez, J., 2003. Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography* 26 (5). 573-584. [10.1034/j.1600-0587.2003.03586.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2003.03586.x).
67. Gómez-Aparicio, L., Zavala, M. A., Bonet, F. J., Zamora, R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecological Applications* 19(8), 2124-2141. <https://doi.org/10.1890/08-1656.1>
68. Zamora, R., Hódar, J. A., Matías, L., Mendoza, I., 2010. Positive adjacency effects mediated by seed disperser birds in pine plantations. *Ecological Applications* 20(4), 1053-1060. <https://doi.org/10.1890/09-0055.1>
69. González-Moreno, P., Quero, J., Poorter, L., Bonet, F., Zamora, R., 2011. Is spatial structure the key to promote plant diversity in mediterranean forest plantations? *Basic and Applied Ecology* 12(3), 251-259. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.02.012>
70. Navarro-González, I., Pérez-Luque, A. J., Bonet, F. J., Zamora, R., 2013. The weight of the past: Land-use legacies and recolonization of pine plantations by oak trees. *Ecological Applications* 23(6), 1267-1276. <https://doi.org/10.1890/12-0459.1>
71. Utsugi, E., Kanno, H., Ueno, N., Tomita, M., Saitoh, T., Kimura, M., Seiwa, K., 2006. Hardwood recruitment into conifer plantations in Japan: Effects of thinning and distance from neighboring hardwood forests. *Forest Ecology and Management* 237(1-3):15-28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.011>
72. Hewitt, N., Kellman, M., 2002. Tree seed dispersal among forest fragments: I. Conifer plantations as seed traps. *Journal of Biogeography* 29:337-349. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00678.x>
73. Hewitt, N., Kellman, M., 2002. Tree seed dispersal among forest fragments: II. Dispersal abilities and biogeographical controls. *Journal of Biogeography* 29:351-363. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00679.x>
74. Bengtsson, J., Angelstam, P., Elmqvist, T., Emanuelsson, U., Folke, C., Ihse, M., Nyström, M., 2003. Reserves, Resilience and Dynamic Landscapes. *AMBIO* 32(6):389-396. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.389>
75. Lundberg, J., Moberg, F., 2003. Mobile link organisms and ecosystem functioning: implications for ecosystem resilience and management. *Ecosystems* 6:87-98. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0150-4>
76. Fernández, N., Navarro, L. M., Pereira, H. M., 2017. Rewilding: A Call for Boosting Ecological Complexity in Conservation. *Conservation Letters* 10(3):276-278. <https://doi.org/10.1111/conl.12374>
77. Meli, P., Holl, K.D., Rey-Benayas, J. M., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., Moreno-Mateos, D., 2017. A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PLoS One* 12(2): e0171368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368>
78. Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., Bradstock, R. A., 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in plant science* 16(8), 406-411.
79. Castro, J., 2021. Post-fire restoration of Mediterranean pine forests. En: Ne'eman, G., & Osem, Y. (Eds.). *Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean Basin*, pp. 537-565. Springer, Cham.
80. Leverkus, A. B., Thorn, S., Gustafsson, L., Noss, R., Müller J., Pausas, J. G., Lindenmayer, D. B., 2021. Environmental policies to cope with novel disturbance regimes -steps to address a world scientists' warning to humanity". *Environmental Research Letters*, 16(2).
81. Leverkus, A. B., Castro, J., 2022. Restoration of Mediterranean forest ecosystems after major disturbances: The Lanjarón post-fire experiment over 15 years of succession. In *The landscape of Sierra Nevada: A unique laboratory of global processes* (eds. Zamora, R. & Oliva, M.) Springer Nature Switzerland AG. 421 pp.

82. Castro, J., Allen, C. D., Molina-Morales, M., Marañón-Jiménez, S., Sánchez-Miranda, Á., Zamora, R., 2011. Salvage logging versus the use of burnt wood as a nurse object to promote post-fire tree seedling establishment. *Restoration Ecology* 19(4), 537-544.
83. Leverkus, A. B., Lorite, J., Navarro, F. B. F. B., Sánchez-Cañete, E. P. E. P. Castro, J., 2014. Post-fire salvage logging alters species composition and reduces cover, richness, and diversity in Mediterranean plant communities. *Journal of environmental management* 133, 323-331.
84. Castro, J., Moreno-Rueda, G., Hódar, J. A., 2010. Experimental test of postfire management in pine forests: Impact of salvage logging versus partial cutting and nonintervention on bird-species assemblages. *Conservation Biology* 24, 810-819.
85. Thorn, S., Bäessler, C., Brandl, R., Burton, P. J., Cahall, R., Campbell, J. L., Müller, J., 2018. Impacts of salvage logging on biodiversity – a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 55(1), 279-289.
86. Leverkus, A. B., Puerta-Piñero, C., Guzmán-Álvarez, J. R., Navarro, J., Castro, J., 2012. Post-fire salvage logging increases restoration costs in a Mediterranean mountain ecosystem. *New Forests* 43(5), 601-613.
87. Leverkus, A. B., Gustafsson, L., Lindenmayer, D. B., Castro, J., Rey Benayas, J. M., Ranius, T., Thorn, S., 2020. Salvage logging effects on regulating ecosystem services and fuel loads. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18(7), 391-400.
88. Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R. M., Camarero, J. J., Fernández-Cancio, Á., 2012. Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change* 113 (2-4), 767-785.
89. Aspizua, R., Bonet, F. J., Zamora, R., López-Onieva, M., 2015. Naturalización de pinares de repoblación: preparando el bosque para el cambio. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A. J. Bonet, Barea-Azcón, J. M., Aspizua, R. (Editores). *La huella del cambio global en Sierra Nevada: retos para la conservación*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Granada, pp. 162-166.
90. Lindner, M., García-Gonzalo, J., Kolström, M., Green, T., Reguera, R., 2008. Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. AGRI-2007-G4-06.
91. Sánchez-Salguero, R., Camarero, J. J., Dobbertin, M., Fernández-Cancio, Á., Vilà-Cabrera, A., Manzanedo, R. D., Zavala, M. A., Navarro-Cerrillo, R. M., 2013. Contrasting vulnerability and resilience to drought-induced decline of densely planted vs. naturally regenerated rear-edge *Pinus nigra* forests. *Forest Ecology and Management* 310, 956-967, doi:10.1016/j.foreco.2013.09.050.
92. Navarro-Cerrillo, R., Cachinero-Vivar, A. M., Pérez-Priego, O., Aspizua, R., Beguería, S., Camarero, J. J., 2023. Developing alternatives to adaptive silviculture: Thinning and tree growth resistance to drought in a *Pinus* species on an elevated gradient in Southern Spain. *Forest Ecology and Management* 537, 120936. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120936>

# GLOSARIO

**Adaptación al cambio climático:** se refiere a los ajustes en los sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a estímulos climáticos reales o previstos y sus efectos o impactos. En otras palabras, es la respuesta orientada a reducir los riesgos, limitar los impactos, reducir las vulnerabilidades e incrementar la resiliencia de los sistemas sociales y biológicos frente a los efectos del cambio climático.

**Cambio climático:** efecto de la actividad humana sobre el sistema climático global, que siendo consecuencia del cambio global afecta, a su vez, a otros procesos fundamentales del funcionamiento del sistema Tierra.

**Cambio global:** conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del sistema Tierra (CSIC).

**Carpófago:** que se alimenta de frutos.

**Clara:** corta que se hace en un rodal regular, en una masa que podría considerarse “adulta” (estados de latizal y fustal, que comprenden desde que se inicia la poda natural hasta el final de la vida del arbolado), con el objetivo de mejorar la estabilidad y calidad de la masa, eliminando los pies peor conformados, obteniendo productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes. Se llama clara selectiva aquella efectuada eligiendo los árboles que se desean cortar, de acuerdo con un determinado criterio.

**Clareo:** corta que se hace en un rodal regular en las primeras edades del arbolado (estados de repoblado y monte bravo, que comprenden individuos desde la lignificación del tallo y la ramificación hasta que se inicia la poda natural) con el objetivo de mejorar la estabilidad de la masa, sin obtener productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes.

**Clase diamétrica:** intervalos establecidos para la medida de diámetros de troncos a 1,3 m de altura.

**Decaimiento forestal:** proceso por el que una comunidad de árboles, matorral u otras formaciones vegetales pierden vigor debido, principalmente, a la competencia intra y/o interespecífica o por la acción directa o difusa de agentes bióticos o abióticos nocivos.

**Defoliador:** cualquier organismo nocivo (generalmente, insectos y hongos) o sustancia química que puede provocar defoliación, entendida como la caída o eliminación de las hojas (adaptado de SECF).

**Densidad:** número de pies de una masa por unidad de superficie. Es una de las formas de cuantificar la espesura.

**Deslocalización de un hábitat:** cambio significativo en las características del “sitio ecológico” que puede poner en riesgo la sostenibilidad de una población, comunidad vegetal o ecosistema que habita un determinado lugar.

**Faja:** zonas largas y estrechas replanteadas dentro de un rodal o unidad dasocrática, con el fin más frecuente de practicar una corta dentro de ellas.

**Floeoéfago:** que se alimenta del floema, tejido vascular implicado en el transporte de la savia elaborada.

**Enfermedad forestal:** alteración perjudicial o dañina del normal funcionamiento de un proceso fisiológico que puede estar producida por un organismo patógeno o debida a deficiencias o agresiones medioambientales. Se aplica habitualmente cuando el agente causante es un hongo, una bacteria, un virus, un micoplasma u otros organismos afines.

**Estoma:** cada una de las pequeñas aberturas que aparecen en la epidermis de las partes verdes de los vegetales superiores que están provistas de dispositivos de cierre automático y sirven para controlar el intercambio de gases con la atmósfera y la transpiración de una planta.

**Estructura:** en una masa o rodal, la distribución y representación de especies arbóreas y arbustivas, de las clases de edad y/o tamaño (en especial las diamétricas), así como de las clases de copa. Modelo o forma de distribución de la biomasa de un sistema ecológico o de una cubierta vegetal en el espacio aéreo y subterráneo.

**Hemiparásito/a:** vegetales parcialmente parásitos, que poseen hojas verdes y son capaces de sintetizar nutrientes a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico, pero toman el agua y las sustancias minerales de la planta parasitada.

**LiDAR (Light Detection And Ranging):** tecnología que permite medir la distancia entre un sensor y un objeto, a través de un rayo de luz láser, para obtener medidas de posicionamiento georreferenciadas mediante modelos digitales tridimensionales de alta precisión.

**Masa regular:** la formada por árboles de una misma clase de edad. Masa en la que la diferencia de edad de sus pies es pequeña, del orden de 10 a 20 años como máximo.

**Mitigación del cambio climático:** persigue reducir las emisiones netas a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

**Naturalización de pinares:** actuaciones encaminadas a la sustitución paulatina de las masas densas de pinares de repoblación, de origen artificial, por unidades de vegetación natural que puedan colonizar espontáneamente el ecosistema, enriqueciéndolo, gracias a la retención del suelo y al microhábitat generado por el pinar. A menudo estas actuaciones se orientan a modificar la estructura del pinar para que se den las condiciones adecuadas para la colonización por parte de otras especies.

**Ordenación:** proceso de análisis, diagnóstico y planificación de un territorio que lleva la programación de actuaciones para conseguir la máxima rentabilidad sostenida, económica y ecológica de un recurso, en conservación y mejora del medio en función de sus condiciones naturales, de los otros usos y aprovechamientos existentes, de la legalidad vigente y de los objetivos pretendidos.

**Pedúnculo:** eje de una inflorescencia. Rama de tamaño pequeño que permite el sostén del fruto, la flor o la hoja.

**Peridotita:** roca plutónica granuda, de color verde oliva a verde oscuro, cuyo mineral principal es un peridoto: el olivino.

**Pirófito:** especie adaptada para sobrevivir a grandes incendios, o en zonas con recurrencia frecuente de incendios. Especie vegetal cuya reproducción se ve favorecida por el fuego.

**Piso bioclimático:** cada uno de los tipos o espacios termoclimáticos que se suceden en una cliserie altitudinal o latitudinal. Vienen, pues, definidos no por la altitud, sino por variables climáticas. En España, en la región corológica Mediterránea se han definido los 5 siguientes: Termo-, meso-, supra-, oro y crioromediterráneo.

**Plaga:** en este manual se ha utilizado el sentido más restringido, referido a una perturbación de origen biótico animal que incide sobre las plantas forestales reduciendo su crecimiento, causándoles la muerte o algún tipo de trastorno en su desarrollo.

**Relicto:** define un organismo vivo o un agrupamiento de organismos conservados en una estación residual o aislada, sirviendo de testigo de una antigua extensión y un poblamiento ahora más restringido o mermado.

**Residuo forestal:** residuos procedentes de tratamientos selvícolas como entresacas, clareos, podas, cortas finales, etc., que permanecen en el monte al terminar un aprovechamiento forestal. Incluye el material ligno-celulósico y las hojas.

**Resiliencia:** (Ecol.) Capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones, manteniendo sus características de estructura, dinámica y funcionalidad prácticamente intactas; pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma.

**Restauración forestal:** recuperación de terrenos forestales que han sufrido algún proceso de degradación mejorando su calidad ambiental, restableciendo sus funcionalidades y favoreciendo su evolución dinámica hacia etapas más estables y maduras ecológicamente.

**Saproxilófago:** que se alimenta de madera muerta.

**Selvicultura:** teoría y práctica sobre el establecimiento, desarrollo, composición, sanidad, calidad, aprovechamiento y regeneración de las masas forestales, para satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, de forma continua o sostenible.

**Servicios ecosistémicos:** aquellos beneficios que un ecosistema aporta a la sociedad y que mejoran la salud, la economía y la calidad de vida de las personas. Éstos resultan del propio funcionamiento de los ecosistemas.

**Sotobosque:** conjunto de vegetales que se desarrollan y viven a la sombra de un estrato principal de árboles.

**Teledetección:** técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales.

**Xilófago:** organismo que se alimenta de madera, digiriendo y asimilando la celulosa mediante la acción de simbiontes (bacterias, hongos, protozoos) que reducen la celulosa a glucosa asimilable (SECF).

*Muchas de estas definiciones se han tomado o adaptado de la Sociedad Española de Ciencias Forestales ([http://secforestales.org/diccionario\\_forestal\\_secf](http://secforestales.org/diccionario_forestal_secf))*



# AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este manual ha sido posible gracias al trabajo de un elevado número de personas. Todos los colaboradores que han participado en su redacción y revisión están reflejados como autores, pero aún así les damos las gracias por participar en este documento y dedicar su tiempo a un proyecto que quiere aportar una visión actual de los pinares mediterráneos en el marco de la emergencia climática existente. Además de a todos los integrantes del proyecto Life Adaptamed, queremos agradecer la participación de personas pertenecientes a otras instituciones que, pese a no estar directamente vinculadas con el proyecto, han colaborado en mayor o menor medida a lo largo del mismo, de manera desinteresada, contribuyendo a este manual de manera muy activa. Ese es el caso, por ejemplo, del Dr. Rafael Navarro Cerrillo, vinculado al Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, a quien agradecemos enormemente su implicación, disponibilidad y entusiasmo. También queremos agradecer su colaboración a las demás personas que han participado desde esta universidad y a las que lo han hecho desde otras instituciones, como la Universidad de Granada y el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Desde el Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC). El Dr. Fernando Montes Pita nos ha prestado el dispositivo Forestereo utilizado en el seguimiento de campo y nos ha asesorado sobre su funcionamiento.

Asimismo, el desarrollo del proyecto Life Adaptamed no habría sido posible sin la participación de determinadas personas o entidades a las que queremos trasladar nuestro agradecimiento: a las empresas Noceda S.L. y Forest Jardin S.L. que han ejecutado las actuaciones en los pinares seleccionados del proyecto. Desde AMAYA, a las personas que han participado en el señalamiento y

seguimiento de estas actuaciones, a Ignacio Maldonado como responsable del equipo, a Jorge Alcaina y José Luis Artacho por su eficaz gestión económica y administrativa; a los técnicos de la Red de Información Ambiental de Andalucía y a los Técnicos de Equilibrios Biológicos de la Agencia de Medio Ambiente y Agua (AMAYA), quienes han colaborado en la redacción del documento. Desde la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, a la guardería y a los equipos de gestión de los tres Espacios Naturales Protegidos participantes en Life Adaptamed, que siempre han facilitado nuestra labor y han puesto a nuestra disposición los medios a su alcance para poder realizarla, tanto en la fase de ejecución del proyecto como en la fase de concepción e impulso del mismo, en la que tuvieron un papel fundamental Javier Sánchez e Ignacio Henares, como responsables de la gestión del Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada en aquel momento; a los técnicos del Parque, especialmente a Blanca Ramos y a Javier Navarro, quienes han aportado durante el proceso de concepción y ejecución del proyecto Life Adaptamed su valiosa experiencia; al apoyo del actual equipo de gestión del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada, especialmente a Miguel Fernández Córdoba, cuya profesionalidad y eficacia ha sido decisiva para poder tramitar y ejecutar a tiempo actuaciones esenciales para este proyecto Life.

No podemos olvidarnos de la generosidad de las personas que amablemente han cedido fotografías para ilustrar este manual, especialmente a Francisco Bruno Navarro Reyes. También queremos agradecer la enorme paciencia y gran profesionalidad de Ma Ángeles Lizana, de la empresa Creados Visual S.L., responsable de los minuciosos trabajos de maquetación, que han requerido numerosos cambios en infografías y textos. Por último, la impresión del manual ha sido posible gracias al Centro de Cooperación para el Mediterráneo de UICN.

Por diversas circunstancias ajenas a nuestra voluntad, este manual ha tardado en concluirse e imprimirse más de lo que nos hubiera gustado. Nuestra más sincera gratitud a todos, también por la paciencia.







Beneficiario Coordinador



Beneficiarios asociados



Cofinanciador

