



LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809)



IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS SELVÍCOLAS DE DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FLORÍSTICA EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO está financiado por el Programa LIFE de la Unión Europea bajo el Acuerdo de Subvención LIFE20 CCA/ES/001809.



El contenido incluido en esta guía refleja únicamente la opinión del autor y la Agencia/Comisión Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Esta guía forma parte del material de divulgación, transferencia y replicabilidad en el marco de las acciones C6 y E4 del Proyecto LIFE20 CCA/ES/001891- LIFE ADAPT-ALEPPO "Gestión adaptativa de los bosques mediterráneos de *Pinus halepensis* ante el cambio climático"

EDICIÓN:

Dirección General de Patrimonio Natural y Acción Climática de la Comunidad Autónoma Región de Murcia. Ingeniería del Entorno Natural.

REDACCIÓN:

Aitor Ameztegui (1), Gil Torné (1), Anna Fontova-Musté (1), Lluís Coll (1), Cristina Vega-García (1), Santiago Martín Alcón (2), Jorge Olivar Ruiz (2)

(1) Grupo de Investigación en Dinámica Forestal y Gestión Adaptativa (ADAPTAFOR). Universitat de Lleida
(2) Agresta Sociedad Cooperativa.

FOTOGRAFÍAS:

Las imágenes adjuntas a este manual han sido tomadas por los autores de la guía.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

Jose Juan Rivas Nieto

CITA BIBLIOGRÁFICA:

Ameztegui, A; Torné, G., Fontova-Musté, A.; et al. 2025. Guía técnica "Implementación de técnicas selvícolas de diversificación estructural y florística en los pinares ibéricos de pino carrasco"

DEPÓSITO LEGAL: MU 342-2025

FINANCIADO:

Programa LIFE de la Unión Europea
Esta publicación será reproducible por todos los medios, citando las fuentes y con finalidad no lucrativa.

La información incluida en el presente documento refleja solo la opinión de sus autores, excluyendo a la Agencia/Comisión Europea de cualquier uso que pueda derivarse de ella.

IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS SELVÍCOLAS DE DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FLORÍSTICA EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1.	ANTECEDENTES	2
1.2.	OBJETIVOS	4
1.3.	GLOSARIO Y CONCEPTOS CLAVE	5
2	ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT 42.841 - PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO	7
2.1.	ECOLOGÍA DEL HÁBITAT	7
2.2.	DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT	8
3	EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO	9
4	LA GESTIÓN FORESTAL COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN DE LOS BOSQUES AL CAMBIO CLIMÁTICO	11
5	IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS SELVÍCOLAS DE DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FLORÍSTICA EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO	12
5.1.	BASES CIENTÍFICO-TÉCNICAS	12
5.2.	SISTEMAS FORESTALES OBJETO DE APLICACIÓN Y RECOMENDACIONES GENERALES	13
5.3.	DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN EL PROYECTO	13
	5.3.1. Diseño de las actuaciones	13
	5.3.2. Protocolo de seguimiento	17
	5.3.3. Resultados	19
	5.3.4. Análisis económico	21
5.4.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS	22
	5.4.1. Recomendaciones para la diversificación estructural y fomento de la regeneración en un contexto de cambio climático	22
	5.4.2. Recomendaciones para la diversificación florística de pinares de pino carrasco	22
6	BIBLIOGRAFÍA	24
7	ANEJO FOTOGRÁFICO	25

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El cambio climático está ejerciendo impactos notables en la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas forestales Mediterráneos, impactos que pueden verse acentuados en un futuro próximo. Los escenarios constatan una aceleración en el aumento de las temperaturas, reducciones entre leves y moderadas en las precipitaciones, lo que provocará un aumento general de la aridez. Del mismo modo, se espera una mayor frecuencia de eventos extremos (tanto altas temperaturas como bajas precipitaciones), provocando eventos de sequía más frecuentes y severos. El aumento del estrés hídrico asociado con sequías más prolongadas e intensas puede conducir a cambios en la mortalidad y la regeneración de especies vegetales, afectando al rango actual de distribución de especies de plantas y provocando la desaparición y reemplazo de ciertas especies por otras. Además, se prevé un aumento progresivo en la frecuencia y severidad de ciertas perturbaciones naturales, como es el caso de los grandes incendios forestales y los episodios de plagas y enfermedades, pudiendo provocar grandes cambios en la distribución y composición de los hábitats forestales a escala regional.

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es la especie del género *Pinus* más ampliamente distribuida en el entorno circunmediterráneo. Es un elemento característico fundamental de los bosques del Mediterráneo occidental. La superficie de estos bosques de pinos en España supera los 2 millones de hectáreas. En la mayor parte de la superficie que ocupan, estos bosques son la única formación arbórea capaz de sobrevivir a las condiciones bioclimáticas presentes, por ello se han considerado altamente vulnerables al cambio climático. Su desaparición podría conducir a una reducción significativa de la cubierta arbórea en grandes áreas, avanzando hacia la desertificación, especialmente en las zonas de transición entre ombroclimas secos-subhúmedos y semiáridos. Todos estos hechos constatados hacen que la práctica de medidas de gestión forestal adaptativa en este hábitat tome el carácter de urgente. Sin embargo, existen una serie de carencias de conocimiento científico-técnico que dificultan su puesta en práctica de forma generalizada. El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809), ejecutado en el periodo 2021-2025, ha pretendido contribuir a superar estas carencias, principalmente en dos líneas de acción:

1. La ausencia diagnósticos de idoneidad del hábitat bajo los escenarios de cambio climático, así como de herramientas de seguimiento de procesos de decaimiento específicas para las masas forestales de *Pinus halepensis*.
2. La ausencia de modelos o directrices de gestión forestal adaptativa para las masas forestales ibéricas de *Pinus halepensis*.

Las Guías Técnicas para la Adaptación al Cambio Climático en pinares de *Pinus halepensis* en el Mediterráneo constituyen el principal resultado del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO a nivel de transferencia de resultados, pretendiendo sintetizar y transferir las aportaciones del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO en estas líneas de conocimiento. Se espera que a través de estas Guías pueda transformarse el carácter demostrativo de las actuaciones ejecutadas en el proyecto LIFE en aplicaciones reales replicadas a gran escala para mejorar la capacidad de adaptación, y por tanto la resiliencia de las masas forestales en el área mediterránea de la Península Ibérica. También, que los avances del proyecto, sintetizados en las Guías Técnicas, puedan ser integrados en las herramientas de planificación forestal y puedan ser así aplicadas en los procesos de toma de decisiones en materia de gestión forestal sostenible.



Así pues, el conjunto de Guías Técnicas elaboradas abarca:

- Las metodologías para el mapeo de la idoneidad del hábitat y el seguimiento de los procesos de decaimiento en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de la migración asistida de *Pinus halepensis* en trabajos de restauración forestal de su hábitat.
- El uso de la silvicultura de base ecohidrológica en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de medidas selvícolas para el fomento de la resiliencia y adaptabilidad de las masas a través de la diversificación estructural y florística en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de medidas selvícolas para la gestión adaptativa de la regeneración post-incendio en pinares de *Pinus halepensis*.

El equipo técnico-científico que ha participado en la ejecución del proyecto LIFE y, en particular, en la redacción de las Guías Técnicas, es el conformado por:

- IDEN (Ingeniería del Entorno Natural), empresa con base en Castilla La-Mancha y la Región de Murcia, con amplia experiencia en consultoría de Ingeniería y Medio Ambiente.
- Agresta Sociedad Cooperativa, empresa de ámbito nacional, especializada en consultoría e innovación en torno a la gestión forestal y del medio natural.
- La Universitat de Lleida a través del Grupo de Investigación en Gestión Adaptativa y Dinámica Forestal (ADAPTAFOR).
- La Universidad Politécnica de Valencia a través del grupo de hidrología forestal Re-Forest
- La Universidad de Castilla-La-Mancha a través del grupo de investigación de Ecología Forestal (ECOFOR) del Instituto botánico y ETSIAMB de Albacete.
- La Consejería de Medio Ambiente, Universidades, Investigación y Mar Menor (CARM) de la Región de Murcia.



1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO ha sido el desarrollo de nuevas herramientas para la adaptación de los bosques ibéricos de pino carrasco (subtipo 42.841 del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, Anexo I) al cambio climático, así como su aplicación demostrativa.

El logro del objetivo general del proyecto requería del cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- 01** – Desarrollar un mapa de idoneidad del hábitat e implementar una herramienta para detectar los procesos de decaimiento mediante teledetección.
- 02** – Implementar y monitorear actuaciones de migración asistida dirigidas a mejorar la capacidad del ecosistema para adaptarse a la aridificación climática.
- 03** – Implementar y monitorear tratamientos selvícolas destinados a mejorar la vitalidad y reducir los efectos de la reducción de la disponibilidad de agua.
- 04** – Implementar y monitorear tratamientos selvícolas para mejorar la heterogeneidad estructural y florística y aumentar la diversidad de las respuestas a las perturbaciones.
- 05** – Implementar y monitorear técnicas de gestión adaptativa para mejorar la resiliencia y capacidad adaptativa de la regeneración post-incendio de pino carrasco.
- 06** – Desarrollar herramientas de gestión y transferirlas a la administración forestal, para promover la integración de la adaptación al cambio climático en las regulaciones nacionales y regionales de gestión forestal.
- 07** – Desarrollar tareas de monitoreo para evaluar el éxito e impacto del proyecto.
- 08** – Transferir las técnicas y herramientas implementadas a los principales actores locales y del área de distribución del pino carrasco europeo (baleares, franceses e italianos), con el fin de mejorar la gestión y la conservación a largo plazo del hábitat del pino carrasco en el sur de Europa.

El objetivo de esta Guía Técnica es proporcionar directrices prácticas para la implementación de medidas selvícolas que fomenten la resiliencia y adaptabilidad de los pinares ibéricos de *Pinus halepensis* frente a los efectos del cambio climático. En particular, esta guía se centra en estrategias de diversificación estructural y florística, con el fin de mejorar la estabilidad de estos ecosistemas ante perturbaciones como sequías, incendios y plagas.

A través de la recopilación de conocimientos científicos y la experiencia adquirida en el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO, esta guía ofrece un marco técnico basado en evidencias para la planificación y ejecución de tratamientos selvícolas adaptativos. Se pretende que estas recomendaciones sean de utilidad para gestores forestales, técnicos y responsables de la administración, facilitando su integración en planes de ordenación y gestión sostenible de los pinares de pino carrasco.

Además, se abordan aspectos operativos y económicos relacionados con la aplicación de los tratamientos, proporcionando herramientas para evaluar su viabilidad y eficacia en distintos contextos. La meta final es que la implementación de estas prácticas contribuya a la conservación y funcionalidad de los pinares mediterráneos de pino carrasco, asegurando su persistencia a largo plazo en un escenario de cambio climático.

1.3. GLOSARIO Y CONCEPTOS CLAVE

ADAPTACIÓN

Ajustes en sistemas naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales.

AGUA AZUL

Es el agua que se exporta o sale del ecosistema bosque por escorrentía o drenaje profundo, llegando a los cursos de agua y/o acuíferos donde queda disponible para su consumo.

AGUA VERDE

Parte de la precipitación que es absorbida por la vegetación y que acabará volviendo a la atmósfera a través de la transpiración.

ARIDEZ

Estado que resulta de la deficiencia en agua, como consecuencia de la escasez de precipitaciones y de la intensidad de la evaporación por las elevadas temperaturas. Es la insuficiencia de agua en el suelo y en la atmósfera. Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) define la aridez mediante la interrelación de la temperatura con las precipitaciones, basándose en el supuesto que con la temperatura aumenta correlativamente la evapotranspiración.

BANDA ESPECTRAL

Franja del espectro en la que opera el sensor del satélite para captar los niveles de energía emitidos por los objetos y ser traducida digitalmente en cada uno de los archivos que forman una imagen para representar visualmente la información.

DECAIMIENTO

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.

ESTRÉS HÍDRICO

Concepto que designa la falta de agua en la vegetación, la cual se traduce en un descenso de actividad clorofílica de la planta y mayor nivel de riesgo de ataques por plagas, enfermedades o incendios.

IDONEIDAD DEL HÁBITAT

Concepto que designa el nicho fundamental de un hábitat, el cual está definido por una función $f(x, y)$ donde x e y son las variables ambientales que definen las condiciones donde el hábitat puede darse.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN

Un índice de vegetación es un valor único que se calcula transformando las observaciones de múltiples bandas espectrales. Se utiliza para realzar la presencia de elementos de vegetación verde y así ayudar a distinguirlos de los otros objetos presentes en la imagen. Dependiendo del método de transformación y de las bandas espectrales utilizadas, se podrían evaluar diferentes aspectos de la cobertura vegetal de la imagen, como el porcentaje de cobertura vegetal, la cantidad de clorofila, el índice de área foliar, etc.

LANDSAT

Misión espacial que recibe su nombre de la abreviatura LAND (tierra) y SAT (satélite) cuya constelación de satélites está gestionada por la NASA con el fin de monitorizar y llevar a cabo un seguimiento de la Tierra. Entre los productos más convencionales ofrecidos por los satélites de la misión se encuentran sus imágenes de libre descarga.

MIGRACIÓN ASISTIDA

Cambio de la composición específica o genética de una población, buscando sustituir (o complementar) a las especies o poblaciones mal adaptadas por especies o genotipos mejor adaptados a las condiciones climáticas previstas en el futuro.

MODELO CLIMÁTICO

Representación de los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan el sistema climático. Se utilizan para el estudio de la dinámica del sistema meteorológico y climático para las proyecciones del clima futuro.

NBR: Acrónimo del índice normalizado de incendios (Normalized Burn Ratio) destinado a identificar las zonas territoriales afectadas por un incendio y analizar la severidad generada por el mismo a través de las bandas de trabajo como el NIR y el SWIR.

REGIONES BIOCLIMÁTICAS

Zonas que presentan un clima predominante, con una vegetación y fauna adaptada a ella y con ecosistemas propios de dicha zona.

RESILIENCIA

Capacidad de un sistema ecológico para recuperar sus propiedades después de verse alterado por una perturbación o un estrés intenso y continuado.

SELVICULTURA ADAPTATIVA O SELVICULTURA PARA LA ADAPTACIÓN

La silvicultura para la adaptación frente al cambio climático se fundamenta en plantear aquellas prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa de las especies forestales frente al factor de estrés más limitante, que en el caso mediterráneo es el déficit hídrico.

SELVICULTURA ECOHIDROLÓGICA

Silvicultura que sitúa al agua en el centro de la planificación y cuantifica otras variables del ecosistema, como el crecimiento y vigor de los árboles/masa, las propiedades del suelo y los ciclos biogeoquímicos, la sensibilidad al clima de los árboles o la disminución del riesgo de incendios forestales.

SENTINEL

Flota de satélites de la Agencia Espacial Europea, que forman una constelación bajo diferentes misiones y cuyos satélites proveen de imágenes ópticas y datos radar que pueden ser descargadas gratuitamente y a máxima resolución.

SERIES TEMPORALES

Una serie temporal de imágenes de satélite está compuesta por una secuencia de imágenes (puntos de datos) de una misma ubicación, tomadas en intervalos regulares durante un periodo de tiempo determinado.

TRAYECTORIAS SOCIOECONÓMICAS COMPARTIDAS (SSP)

Son escenarios de cambios socioeconómicos globales proyectados hasta 2100. Se utilizan para derivar escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero según diferentes políticas climáticas, basados en narrativas que describen desarrollos socioeconómicos alternativos. Los escenarios son:



2. ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT 42.841 – PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

2.1. ECOLOGÍA DEL HÁBITAT

TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES ENTRE 12 Y 18 °C

PRECIPITACIONES ANUALES ENTRE 300 Y 600 mm

CLIMA MEDITERRÁNEO

Temperaturas

El hábitat se encuentra en regiones de clima mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves y lluviosos y veranos cálidos y secos. Las temperaturas medias anuales suelen oscilar entre los 12 y 18 °C.

Precipitación

El pino carrasco es muy resistente a la sequía, prosperando en áreas con precipitaciones anuales bajas, que pueden variar entre 300 y 600 mm. En algunos casos, puede sobrevivir en zonas con precipitaciones aún más bajas, gracias a su adaptabilidad.

NO ES EXIGENTE CON EL TIPO DE SUELO

SOPORTA SUELOS CON PH VARIADO, AUNQUE MUESTRA PREFERENCIA POR LOS LIGERAMENTE ALCALINOS

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Tipos de suelo

El pino carrasco no es exigente en cuanto al tipo de suelo, colonizando suelos calizos, margosos, arenosos y arcillosos. Su capacidad para crecer en suelos pedregosos y pobres en nutrientes le permite establecerse en áreas marginales donde otras especies de árboles no prosperarían.

Adaptabilidad

Es capaz de soportar suelos con pH variado, aunque muestra preferencia por suelos ligeramente alcalinos. Su adaptabilidad a diferentes tipos de suelo le permite colonizar terrenos degradados y erosionados, contribuyendo a su recuperación.

SOTOBOSQUE: ESPECIES TÍPICAS DE LA GARRIGA Y EL MATORRAL MEDITERRÁNEO

HERBÁCEAS Y GRAMÍNEAS, MUCHAS DE ELLAS ADAPTADAS A CONDICIONES DE SEQUÍA ESTACIONAL Y SUELOS POBRES

VEGETACIÓN ASOCIADA

Estrato arbustivo

En el sotobosque se encuentran especies típicas de la garriga y el matorral mediterráneo, como el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el enebro (*Juniperus oxycedrus*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), la coscoja (*Quercus coccifera*), aladierno (*Rhamnus alaternus*), espinos (*Rhamnus lycioides*), etc.

Estrato herbáceo

Incluye una variedad de especies herbáceas y gramíneas, muchas de las cuales están adaptadas a condiciones de sequía estacional y suelos pobres. Algunas de estas especies pueden ser aromáticas o medicinales, contribuyendo a la biodiversidad del ecosistema.

ALBERGAN GRAN DIVERSIDAD DE ESPECIES DE MAMÍFEROS Y AVES

BIODIVERSIDAD DE INVERTEBRADOS ALTA

FAUNA ASOCIADA

Mamíferos

Los pinares de pino carrasco albergan una diversidad de mamíferos, como el jabalí (*Sus scrofa*), el zorro (*Vulpes vulpes*), y pequeños roedores como el lirón careto (*Eliomys quercinus*).

Aves

Hábitat crucial para muchas especies de aves, tanto residentes como migratorias. Entre ellas se encuentran el águila calzada (*Hieraetus pennatus*), el búho real (*Bubo bubo*), y diversas especies de pequeños pájaros insectívoros y granívoros.

Invertebrados

La biodiversidad de invertebrados es alta, incluyendo numerosas especies de mariposas, escarabajos y hormigas, que desempeñan roles importantes en la polinización y el reciclaje de nutrientes.

2.2. DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT

El hábitat 42.841, conocido como Pinares ibéricos de pino carrasco, abarca una amplia área dentro de la región mediterránea de la Península Ibérica y las Islas Baleares. El pino carrasco (*Pinus halepensis*) es una especie adaptada a las condiciones climáticas y edáficas de esta región, y su distribución está influenciada por varios factores ambientales y humanos.

DISTRIBUCIÓN GENERAL

El pino carrasco está presente en una franja extensa que incluye tanto áreas costeras como interiores de la Península Ibérica. Su capacidad de adaptación le permite prosperar en una variedad de entornos, desde suelos pobres y pedregosos hasta tierras más fértiles.

ÁREAS COSTERAS

A lo largo de la costa mediterránea de la Península Ibérica, desde Cataluña hasta Andalucía oriental, el pino carrasco es una especie dominante. Las condiciones costeras, con suelos calizos y un clima mediterráneo característico, son ideales para el crecimiento de estos pinares. En estas zonas, el pino carrasco forma extensos bosques, a menudo intercalados con matorrales y otras especies mediterráneas.

ÁREAS MONTAÑOSAS Y PRELITORALES

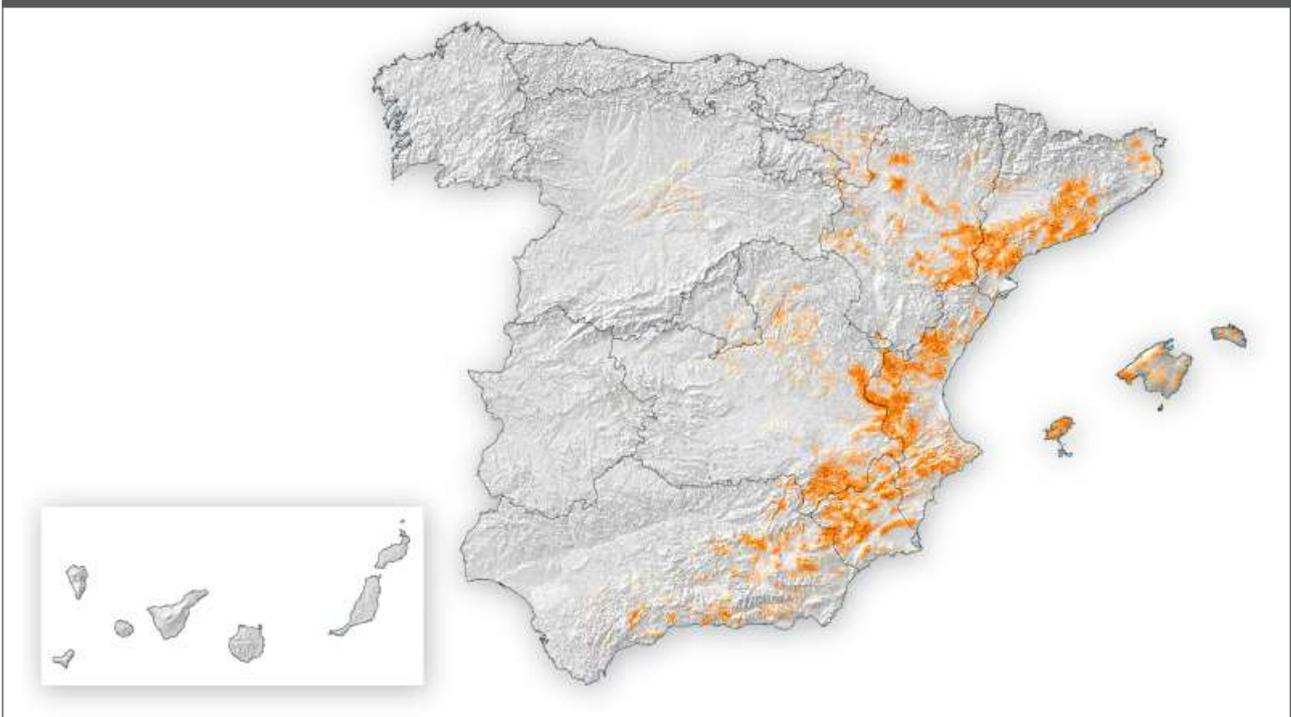
En las áreas montañosas y prelitorales, los pinares de pino carrasco también son comunes. Las sierras y montañas que bordean el Mediterráneo, como las sierras de Alicante, Murcia y Granada, proporcionan un hábitat adecuado para estos bosques. Aquí, el pino carrasco puede encontrarse en altitudes variables, adaptándose a las pendientes y suelos rocosos.

ÁREAS DEL INTERIOR

En el interior de la Península, especialmente en zonas con suelos calizos y clima semiárido, el pino carrasco sigue siendo una especie importante. Se pueden encontrar en la Meseta Central y en áreas como Aragón, donde las condiciones climáticas y edáficas aún permiten su crecimiento. En estas regiones, los pinares a menudo están asociados con otras formaciones vegetales mediterráneas, creando un mosaico de hábitats diversos.

El alcance geográfico del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO abarca el área potencial de distribución del bosque ibérico de pino carrasco (subtipo 42.841 del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, Anexo I), incluyendo las vertientes mediterráneas de las montañas catalanas y del Sistema Ibérico, la cuenca del Ebro y las cordilleras prebéticas.

Pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*)



3. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

El cambio climático está afectando de manera profunda y multifacética a los pinares ibéricos de pino carrasco. Durante las últimas décadas se ha registrado la ocurrencia de fuertes periodos de sequía (1998-2000, 2005-2006, 2014-2017, 2022-2024) que han afectado superficies forestales de cientos a miles de hectáreas, provocando elevadas tasas de mortalidad en el arbolado. La superficie de pinares de pino carrasco afectada por grandes incendios forestales en el decenio 2006-2015 superó las 70.000 ha, y en el periodo 2016-2019 sumó más de 12.000 nuevas hectáreas.

La ocurrencia de otros fenómenos meteorológicos extremos, como las lluvias torrenciales o las grandes nevadas (danas de enero de 2017, septiembre de 2019, o enero de 2020), sumados a fuertes vientos, han provocado daños severos en miles de hectáreas. Y del mismo modo, episodios severos de plagas forestales, en particular escoltídos (especialmente *Tomícus sp.*) y procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), han ocurrido generalmente tras los episodios más severos de sequía, causando también elevadas tasas de mortalidad en superficies importantes, o importantes pérdidas de vigor en el caso de la procesionaria.

A continuación, se describen los efectos específicos del cambio climático en estos ecosistemas, considerando distintos aspectos como la salud de los árboles, la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos:



1. AUMENTO DE LA TEMPERATURA

Estrés térmico

El aumento de la temperatura puede causar estrés térmico en los pinos carrascos, afectando su metabolismo y fotosíntesis. Esto puede reducir su crecimiento y vigor, haciendo a los árboles más susceptibles a otras amenazas como plagas y enfermedades.

Desplazamiento de zonas climáticas

Las zonas climáticas adecuadas para el pino carrasco podrían desplazarse altitudinal o latitudinalmente, forzando a las poblaciones de árboles a migrar hacia áreas más frescas si es posible, lo que podría llevar a una contracción de su área de distribución actual.

Alteración de las interacciones biológicas

Las especies asociadas, tanto plantas como animales, pueden responder de manera diferente al cambio de temperatura, lo que podría alterar las interacciones ecológicas y la estructura del ecosistema.



2. VARIABILIDAD EN LA PRECIPITACIÓN

Sequías más frecuentes e intensas

Las sequías prolongadas pueden reducir la disponibilidad de agua en el suelo, lo que afecta directamente la capacidad de los pinos carrascos para absorber el agua necesaria. Esto puede llevar a un aumento en la mortalidad de los árboles, especialmente de los más jóvenes y menos establecidos.

Eventos de lluvias extremas

Las precipitaciones más intensas pueden causar la erosión del suelo, lo que no solo afecta la estabilidad del terreno sino también la capacidad de las raíces para anclarse y absorber nutrientes. La pérdida de suelo fértil puede dificultar la regeneración natural de los bosques.

Disminución de la recarga de acuíferos

Menor frecuencia de lluvias moderadas y más eventos extremos pueden reducir la recarga de acuíferos, afectando la disponibilidad de agua subterránea que es crucial durante los periodos secos.



3. INCREMENTO DEL RIESGO Y LA SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Mayor frecuencia e intensidad

Las condiciones más secas y cálidas favorecen la ocurrencia de incendios forestales. Incendios más frecuentes e intensos pueden devastar grandes extensiones de pinares, causando pérdida de biomasa, biodiversidad y capacidad de captura de carbono.

Ciclos de recuperación prolongados

Después de incendios severos, los pinares pueden tardar mucho tiempo en regenerarse. Las áreas quemadas son más susceptibles a la erosión y la invasión de especies no nativas que pueden dificultar la recuperación.

Alteración del suelo

Los incendios pueden modificar la estructura y composición del suelo, afectando la capacidad de retención de agua y nutrientes, y alterando la microbiota del suelo esencial para la salud del bosque.



4. PROPAGACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Aumento de plagas

Las temperaturas más cálidas y las condiciones secas pueden favorecer la proliferación de plagas como la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), diferentes escolítidos (*Ips sp.*, *Tomicus sp.*, *Orthotomicus sp.*), el muérdago (*Viscum album*), o el nematodo de la madera del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*).

Enfermedades fúngicas

Las alteraciones en el clima pueden incrementar la incidencia de enfermedades fúngicas que afectan las raíces y la copa de los árboles. Las infecciones fúngicas pueden debilitar a los pinos, haciéndolos más vulnerables a otras amenazas.

Incremento de la mortalidad

El estrés combinado de sequías, altas temperaturas y plagas/enfermedades puede llevar a una mayor mortalidad de los pinos carrascos, afectando la estructura y dinámica del bosque.



5. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

Reducción de hábitats

La contracción de los pinares debido a las condiciones climáticas adversas puede reducir los hábitats disponibles para muchas especies asociadas, desde aves hasta mamíferos y plantas subarborescentes y herbáceas.

Desajuste fenológico

Cambios en los ciclos estacionales pueden causar desajustes fenológicos, donde las especies que dependen de los pinos para alimentación o reproducción no coincidan temporalmente con los recursos necesarios, afectando las cadenas tróficas y la reproducción.

Fragmentación del hábitat

La pérdida y fragmentación de los pinares puede llevar a la fragmentación del hábitat, afectando la movilidad y viabilidad de poblaciones de fauna que dependen de estos bosques.

ALTERACIONES EN: REGULACIÓN DEL CLIMA, CICLO HIDROLÓGICO Y CALIDAD AIRE Y SUELO



6. ALTERACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Regulación del clima

La reducción en la cobertura forestal puede disminuir la capacidad de estos bosques para secuestrar carbono, exacerbando el cambio climático.

Ciclo hidrológico

La alteración de los patrones de precipitación y la pérdida de cobertura vegetal pueden afectar el ciclo hidrológico, reduciendo la infiltración de agua y aumentando la escorrentía superficial.

Calidad del aire y suelo

Los pinares contribuyen a la purificación del aire y la mejora de la calidad del suelo. La disminución de estos bosques puede deteriorar estos servicios, afectando la salud humana y la calidad ambiental.

En resumen, el cambio climático representa un desafío significativo para los pinares ibéricos de pino carrasco. Sin embargo, mediante la implementación de estrategias de gestión sostenible, restauración ecológica, protección contra incendios, monitoreo constante y una mayor investigación, es posible mitigar algunos de estos efectos y aumentar la resiliencia de estos ecosistemas vitales.

4. LA GESTIÓN FORESTAL COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN DE LOS BOSQUES AL CAMBIO CLIMÁTICO

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO está enfocado en mejorar la adaptación de los bosques de pino carrasco (*Pinus halepensis*) al cambio climático mediante la implementación de prácticas de gestión forestal adaptativa. Este enfoque, que puede ser extendido a otras especies y ecosistemas forestales, se basa en cinco estrategias clave: el monitoreo continuo, la migración asistida, la silvicultura de base ecohidrológica, la diversificación florística y estructural y la gestión de la regeneración post-incendio.

1. MONITOREO CONTINUO

- El estudio y seguimiento de la idoneidad de un determinado emplazamiento en base a sus condiciones ambientales actuales y futuras para albergar el hábitat de los pinares ibéricos de *Pinus halepensis*, proporciona una información de gran valor para la planificación de acciones de gestión forestal adaptativa.
- El monitoreo continuo de la salud de los pinares mediante la detección y el seguimiento de los procesos de decaimiento o pérdida de vigor, permite a los gestores forestales emprender acciones de gestión forestal de carácter preventivo o mitigador de los efectos de dichos eventos.

2. MIGRACIÓN ASISTIDA

- La migración asistida implica la reubicación de especies forestales a áreas donde las condiciones climáticas serán más favorables en el futuro. Esta técnica es crucial para asegurar la supervivencia de especies que no pueden desplazarse naturalmente a la velocidad necesaria para adaptarse a las condiciones cambiantes.
- En LIFE ADAPT-ALEPPO se han seleccionado ejemplares de pino carrasco de distintas regiones de procedencia, adaptados a condiciones más secas y se han plantado en áreas preseleccionadas que serán más adecuadas en el futuro. Esto ayudará a crear poblaciones más resilientes y asegura la supervivencia a largo plazo de la especie.

3. SILVICULTURA DE BASE ECOHIDROLÓGICA

- Este enfoque se centra en gestionar los bosques para mejorar los procesos hidrológicos, promoviendo una mayor infiltración de agua, reduciendo la escorrentía y conservando el suelo.
- En LIFE ADAPT-ALEPPO se han implementado prácticas como la reducción moderada del número de árboles, lo que aumenta la cantidad de agua disponible en el sistema y mejora su estado hídrico. Incluso en áreas donde las precipitaciones son más elevadas, favorece la recarga de acuíferos. Este aumento del estado hídrico del ecosistema impacta en otros factores como el aumento del crecimiento y el vigor de los árboles y los rodales, mejora las propiedades del suelo y los ciclos biogeoquímicos, disminuye la sensibilidad a sequía, incrementa la resiliencia de los árboles al clima y reduce el riesgo de incendios forestales por una mayor hidratación del sistema.

4. DIVERSIFICACIÓN FLORÍSTICA Y ESTRUCTURAL

- Aumentar la diversidad de especies y la estructura del bosque es una estrategia clave para mejorar la resiliencia del ecosistema frente a las perturbaciones climáticas.

- LIFE ADAPT-ALEPPO pretende integrar en la gestión de los pinares de pino carrasco la máxima de que cualquier tratamiento selvícola de los tradicionalmente aplicados vaya dirigido a provocar un incremento sustancial en la diversidad estructural y/o composicional, tanto a nivel de rodal como a escala de monte o paisaje. Para ello, se han seleccionado una variedad de especies autóctonas que se han integrado junto con el pino carrasco, promoviendo una estructura forestal diversa que incluya diferentes edades y tamaños de árboles. Esto crea un ecosistema más equilibrado y resistente a plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos.

5. REGENERACIÓN POST-INCENDIO

- Los incendios forestales son una amenaza creciente debido al cambio climático, y la gestión de la regeneración post-incendio es vital para restaurar los bosques afectados.
- En LIFE ADAPT-ALEPPO se han realizado un conjunto de actuaciones selvícolas innovadoras y demostrativas en bosques de pino carrasco de alta densidad afectados por grandes incendios forestales, para mejorar la resiliencia de la regeneración frente a nuevas perturbaciones, como su capacidad adaptativa frente a un escenario de aridificación climática. Para ello, se ha reducido la competencia intraespecífica e interespecífica, favoreciendo la diversificación de las masas desde estadios tempranos de desarrollo.

Estas prácticas no solo mejoran la resiliencia de los bosques, sino que también proporcionan beneficios adicionales como la conservación de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos y la protección del suelo y del agua. El enfoque integral del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO puede servir como modelo para otras iniciativas de gestión forestal adaptativa frente al cambio climático.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FLORÍSTICA EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

5.1. BASES CIENTÍFICO-TÉCNICAS

Los bosques exhiben la mayor parte de características de los sistemas adaptativos complejos (Filotas et al., 2014). Así, son sistemas formados por múltiples elementos individuales que interactúan y se retroalimentan constantemente a distintas escalas espaciales y temporales, a menudo siguiendo relaciones no lineales. Como en todos los sistemas adaptativos complejos, el resultado de las múltiples interacciones se traduce en la emergencia de patrones y comportamientos que confieren al bosque la capacidad de adaptarse al cambio y de auto-organizarse tras el paso de una perturbación (Coll, 2023).

Incrementar la complejidad del sistema forestal promoviendo la heterogeneidad composicional y estructural de las masas y de los paisajes forestales resulta una actuación de gran interés para mejorar su resiliencia frente a perturbaciones cuyos regímenes se verán afectados por el cambio climático. Por ejemplo, se ha comprobado que niveles altos de diversidad específica y estructural a escala de rodal dificultan la expansión de **episodios de decaimiento** asociados a enfermedades o plagas (Jactel et al., 2009). De modo similar, se ha observado que la diversidad de estructuras, especies y morfotipos presentes en un bosque disminuyen, en general, los **daños asociados a episodios de sequía extremos** (Galiano et al., 2010; Linares et al., 2010). Al mismo tiempo, a escala de paisaje, la combinación de rodales con diferentes composiciones específicas y estructuras de bosque se ha mostrado una herramienta eficaz para disminuir el riesgo derivado de perturbaciones como los incendios forestales (Regos et al., 2023).

La principal herramienta de la que dispone el gestor para promover la heterogeneidad de especies y estructuras a nivel de rodal y de paisaje es la **apertura de huecos** de diferentes tamaños (Bravo-Oviedo et al., 2022) y/o la ejecución de tratamientos de **regulación de la competencia** (claras y clareos) que favorezcan aquellos estratos o especies menos representados (Collado et al., 2022; Martín-Alcón et al., 2017). Más allá de la riqueza de especies, lo que resulta relevante en términos de adaptación al cambio climático es aumentar la **diversidad de rasgos funcionales del rodal**. Por ejemplo, promover la progresiva diversificación de pinares mono-específicos con especies de quercíneas puede resultar clave para el rápido recubrimiento del suelo por la vegetación tras un incendio, dada la capacidad de estas últimas de rebrotar (Coll, 2023; Sánchez-Pinillos et al., 2016).

5.2. SISTEMAS FORESTALES OBJETO DE APLICACIÓN Y RECOMENDACIONES GENERALES

La dinámica de los bosques de pino carrasco está marcada por el **carácter pionero** de esta especie, reconocido por su elevada demanda de luz. Este temperamento, junto con su capacidad de recuperación post-incendio, provoca que las masas de pino carrasco se caractericen por su alta densidad, con las copas dispuestas principalmente en un único dosel dominante. Esta estructura dificulta el desarrollo de la vegetación arbustiva propia de las áreas abiertas, ya que la radiación solar disponible bajo el dosel del pino puede reducirse significativamente.

Por ello, las masas forestales objeto de este tipo de actuaciones son precisamente aquellas en las que el pino carrasco es la única especie en el estrato dominante. Se priorizarán las intervenciones en áreas que presentan una alta uniformidad estructural o composicional, sobre todo en aquellos montes en los que exista también una elevada homogeneidad también a nivel de paisaje. Una buena parte de estas masas procede de repoblaciones realizadas durante la primera mitad del siglo XX (Guiral et al., 2019), aunque esto no es un requisito indispensable para que estas actuaciones resulten de interés.

Para maximizar los efectos de los tratamientos en un plazo de tiempo relativamente corto, es deseable que las masas intervenidas cuenten con una regeneración incipiente o un **subpiso compuesto por otras especies**, especialmente frondosas que puedan alcanzar porte arbóreo. Este subpiso contribuye a incrementar la diversidad estructural y funcional del rodal, mejorando su resiliencia frente a perturbaciones, y en caso de existir se buscará favorecerlo para su incorporación al estrato dominante.

Los emplazamientos más adecuados para implementar estos rodales demostrativos son aquellos que, en un contexto de cambio climático presentan características más **desfavorables**, con peor calidad de estación: solanas, áreas muy rocosas o con suelos finos y pobres, y zonas con alto riesgo de incendios forestales. Estas condiciones adversas no solo justifican la necesidad de diversificación, sino que también ofrecen un escenario idóneo para demostrar la eficacia de los tratamientos propuestos.

5.3. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN EL PROYECTO

5.3.1. DISEÑO DE LAS ACTUACIONES

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO ha desarrollado actuaciones de diversificación estructural y florística en pinares ibéricos de pino carrasco de diversas características, y con diferentes objetivos específicos. Se han aplicado 5 tipos de tratamientos selvícolas, que pueden englobarse en tres tipologías:

- 1) Tratamientos que pretenden fomentar la **regeneración** del pino carrasco u otras especies a través de la diversificación fundamentalmente estructural de los rodales.
- 2) Tratamientos para liberar **de competencia** a las especies acompañantes del pino.
- 3) Tratamientos que mantengan y promuevan estructuras de masa **irregulares**. Las tipologías de actuación son:

TIPO 1 Fomentar la regeneración natural

- a) Tratamientos de regeneración por bosquetes
- b) Tratamientos de regeneración por fajas
- c) Tratamientos de aclareo sucesivo uniforme

TIPO 2 Liberación de competencia a especies acompañantes

- d) Claras selectivas y/o mixtas

TIPO 3 Fomentar estructuras de masa irregulares

- e) Entresaca regularizada

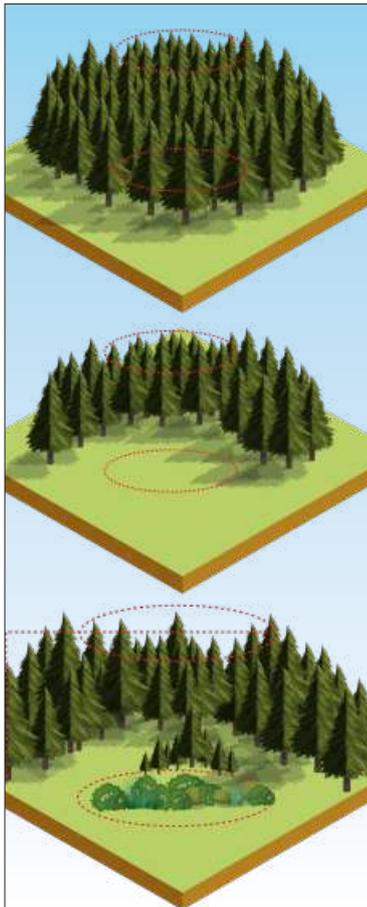


Figura 1: Esquema de los bosquetes y la evolución esperada de la masa.

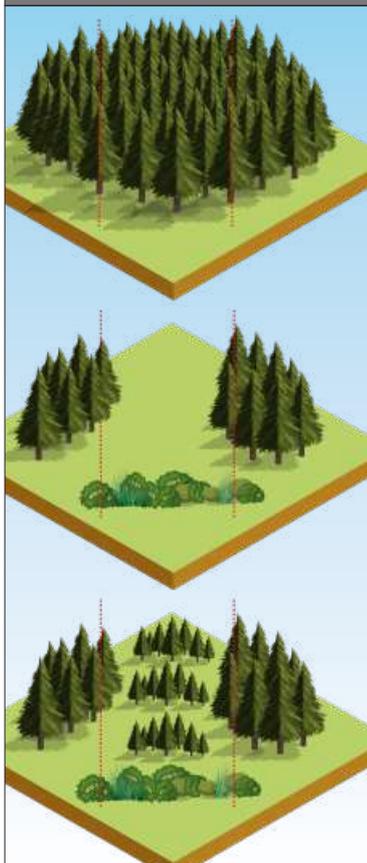


Figura 2: Esquema de las fajas y la evolución esperada de la masa.

Tratamientos de regeneración por bosquetes

La intervención se fundamenta en la apertura controlada de bosquetes de distintos diámetros, en función de los objetivos concretos del rodal. Las cortas por bosquetes imitan perturbaciones naturales de pequeña intensidad (derribos o roturas de pies, o afectación por plagas) y buscan aumentar la entrada de luz para fomentar el desarrollo de la regeneración, incrementando así la heterogeneidad estructural. Dependiendo de las características de la masa inicial, los bosquetes pueden tener como objetivo promover o liberar la regeneración de pino carrasco, asegurando su vigor y capacidad de adaptación, o fomentar la diversificación de especies auxiliares al pino, ya presentes en el rodal, pero dominadas. En función de uno u otro objetivo se han planteado bosquetes de diferentes dimensiones, entre 700 y 3.000 m² y con reserva de un número variable de árboles madre - entre 3 y 7 por bosqueque.

En aquellos rodales en los que existían golpes o manchas de regeneración adelantada, los bosquetes se han ubicado de manera preferente a su alrededor, para favorecer su desarrollo. En este caso se ha optado por bosquetes grandes, de aproximadamente 25 metros de radio (~2.000 m²). En los casos en que existían dudas acerca de la viabilidad de la regeneración ya existente, se han dejado al menos 5-7 árboles como fuente semillera para consolidar la adecuada regeneración.

En los casos en los que se buscaba fomentar la presencia y desarrollo de especies acompañantes se ha optado por bosquetes más pequeños, de aproximadamente 15 m de radio (~800 m²), ejecutados en el entorno próximo de las especies a favorecer, con el fin de fomentar su desarrollo, crecimiento y fructificación. En estos casos se han reservado algunos pies por bosqueque (1-3) para evitar una puesta en luz excesiva. Algunos ejemplos de especies que se ha pretendido favorecer con este tratamiento son la encina (*Quercus ilex*) y enebro (*Juniperus oxycedrus*), entre otras.

Tratamientos de regeneración por fajas

La intervención se fundamenta en la **apertura de fajas de distintas anchuras** con el objetivo de facilitar la regeneración natural y fomentar la presencia de diferentes clases de edad a escala de monte o paisaje. Debido al carácter intolerante del pino carrasco, en la mayoría de los casos se ha optado por fajas amplias, de unos 25 metros de ancho -es decir, una anchura sensiblemente mayor a la altura dominante de la vegetación- y ubicadas en sentido perpendicular a la dirección del viento dominante. Para asegurar la disponibilidad de semilla en todo el ancho de la faja se han dejado golpes de 2 o 3 pinos de buenas características en el centro de la faja, separando los golpes entre sí unos 25 metros. Estos golpes actuarán como árboles madre, proporcionando semilla en las zonas centrales de la faja, y se dejarán más allá del período de regeneración como árboles extravejeros y potencial fuente de madera muerta en el futuro.

Por lo tanto, el tratamiento aplicado podría asimilarse a una corta a hecho por fajas con reserva de árboles madre, adaptada a las necesidades del pino carrasco, una especie a priori intolerante. Este enfoque proporciona cierta protección al regenerado al mejorar la retención de humedad y reducir la exposición a la insolación extrema. Además, la presencia de árboles madre favorece la dispersión de semillas, facilitando una regeneración más eficiente y homogénea. Aunque en este rodal la presencia de especies auxiliares era escasa, se han conservado todos los individuos encontrados para fomentar una mayor diversificación específica.

Aclareo sucesivo uniforme

En pinares cercanos a la edad de regeneración, el aclareo sucesivo uniforme consiste en aplicar cortas continuas consistentes en la extracción total de los pies de la masa principal de una **forma progresiva** (en 2 o 3 intervenciones) y en un período de tiempo determinado (período de regeneración) que definirá la clase artificial de edad (en general de 20 años). Por lo tanto, son tratamientos que dan lugar a **masas regulares**. Si bien es un método de regeneración comúnmente aplicado en numerosas especies, **apenas existen experiencias previas** de su aplicación para la regeneración de pino carrasco, ya que tradicionalmente se ha considerado que esta especie requiere de una puesta en luz más repentina. En un contexto de cambio climático que conlleva sequías más prolongadas y récords de temperaturas estivales, se considera que este método puede aportar un **mayor grado de protección** al regenerado. La apertura gradual puede aportar los niveles suficientes de luz, evitando un exceso de desecación que podría comprometer la regeneración de la especie.

En el caso de los rodales en los que se ha aplicado este tratamiento se ha decidido realizar una **corta diseminatoria** y una corta final, ya que las densidades no eran excesivas y se daba por asegurada la correcta producción de semilla.

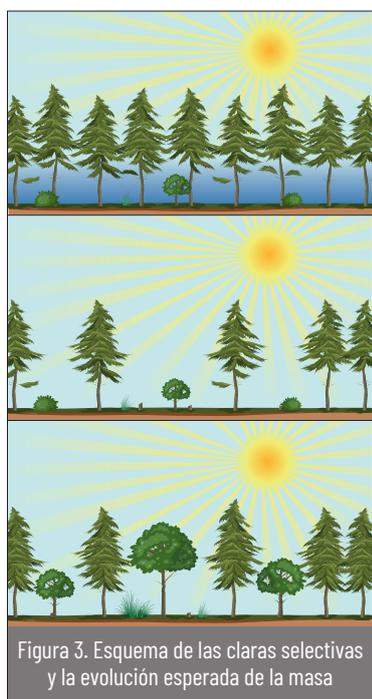


Figura 3. Esquema de las claras selectivas y la evolución esperada de la masa

Claras selectivas y/o mixtas

La intervención se fundamenta en la **apertura controlada del dosel**, con el fin de aumentar la heterogeneidad estructural y la entrada de luz. Esto facilita el desarrollo de especies acompañantes como las encinas (*Quercus ilex*), coscoja (*Quercus coccifera*), enebros (*Juniperus oxycedrus*), o lentisco (*Pistacia lentiscus*), entre otras, contribuyendo a la diversificación del sotobosque.

En algunos casos se ha optado por aplicar una combinación de **claras selectivas** -favoreciendo las especies acompañantes- con otros tipos de claras en el resto del rodal. En primer lugar, se identifican en el rodal todos los pies de las especies de interés (diferentes al pino carrasco) y **se eliminan sus competidores más directos**, normalmente la primera fila de pinos próximos, para favorecer su crecimiento y fructificación. Dependiendo de la abundancia de individuos de estas especies, el peso de dicha clara selectiva puede resultar muy bajo, por lo que se ha considerado realizar **otro tipo de clara** en el resto del rodal. El tipo e intensidad de esta otra clara viene determinado por las características del rodal y condicionado por los objetivos del aprovechamiento. En la mayoría de los casos se ha decidido aplicar una **clara por lo bajo**, eliminando los pies de pino suprimidos, inclinados o en malas condiciones sanitarias o de desarrollo. En algunos rodales se ha optado en cambio por una clara selectiva, favoreciendo los **pinos de porvenir** que se espera lleguen a final del turno.

En todos los casos, se ha favorecido la creación o ampliación de pequeños **bosquetes u oquedades** en la masa, sobre todo si ya existen y cuentan con presencia de otras especies arbóreas. En algún caso se ha acompañado la clara con podas y desbroces selectivos, siguiendo las indicaciones de las actuaciones para prevención de incendios forestales.

En todos los casos se ha evitado apelar pies con **diámetro normal mayor de 40-50 cm**, sea cual sea su estado sanitario, si bien este criterio puede estar sujeto a las condiciones del aprovechamiento. Asimismo, se ha **evitado cortar ni dañar** individuos de especies arbóreas distintas a la que es objeto del aprovechamiento, en este caso pinos carrascos.

Los árboles restantes tras las intervenciones presentarán una menor competencia, lo que probablemente conlleve una **estimulación en el crecimiento** y una **mejora de la vitalidad** a corto plazo, tanto a nivel individual como en el conjunto del rodal. Además, la menor densidad de individuos conlleva una mayor disponibilidad de **recursos hídricos** que podría permitir amortiguar el estrés por sequía o al menos, minimizar sus efectos negativos. Sin embargo, se debe evitar que una apertura demasiado brusca aumente de manera excesiva la insolación a nivel del suelo.

A nivel de **sotobosque**, se espera un estrés inicial debido a los efectos de los trabajos (pisoteo y arrastrado de árboles), pero una posterior **recuperación de las especies** ya existentes, así como la introducción de nuevas especies, debido al aumento de la disponibilidad de luz. Asimismo, el aumento de luz tras la intervención, particularmente para las especies de frondosas que previamente estaban bajo el dosel cerrado, espera traducirse en un incremento en su tasa de crecimiento y desarrollo. Esta dinámica de crecimiento diferenciado contribuye a la diversificación del rodal a largo plazo, creando una **estructura mixta de especies y edades** que no

solo enriquece el ecosistema, sino que también aumenta su capacidad para resistir perturbaciones. Sin embargo, el peso de la clara no debe ser excesivo, para evitar un desarrollo excesivo del sotobosque que pueda propiciar un desarrollo del combustible de escala, lo que conllevaría un aumento del riesgo de incendios. Por ello, en rodales donde este factor sea considerado relevante, se podrá optar por reducir el peso de las claras o por mantener el modelo de combustible.

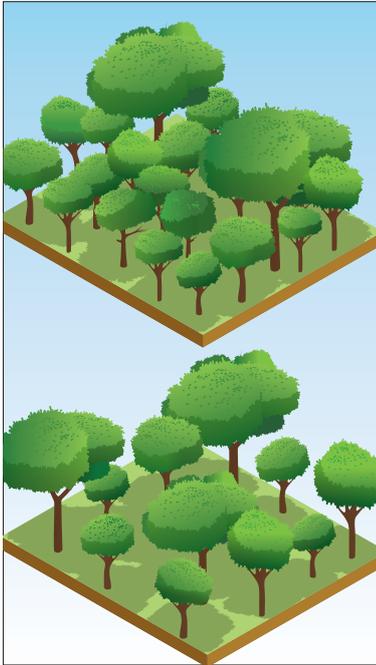


Figura 4: Esquema de la entresaca regularizada y la evolución esperada de la masa

Entresaca regularizada

En pinares que presentan estructuras **irregularizadas** y donde la figura de ordenación lo permita, se ha optado por realizar una **entresaca regularizada**, con el fin de mantener la irregularidad de la masa remanente y favorecer la entrada o vigorosidad de ejemplares de otras especies. Esta técnica consiste en aplicar cortas discontinuas que aproximen la masa a un modelo previo de monte entresacado ideal, en el que están presentes todas las clases de edad.

Para evitar tener que recorrer todo el rodal a ejecutar cada año, la entresaca regularizada fija una **determinada rotación** o periodicidad de las intervenciones, dividiendo el cuartel o rodal en tantos tramos de entresaca como años de la rotación. También pueden agruparse tramos para no tener que intervenir cada año y poder cortar una mayor superficie, disminuyendo así los costes y concentrando mayor volumen de madera extraída. Una dificultad añadida de este tipo de intervenciones es que requieren un **señalamiento pie a pie** para asegurar que se eliminan el número adecuado de individuos de todas las clases de edad.

En total se han desarrollado trabajos de diversificación en 12 rodales ubicados en pinares distribuidos a lo largo del área de distribución del subtipo 42.841 (pinares ibéricos de pino carrasco) del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats (Anexo I) de la región Mediterránea, cubriendo una superficie superior a las 50 hectáreas (Tabla 1).

NOMBRE RODAL	MONTE	MUNICIPIO	PROVINCIA	COMUNIDAD AUTÓNOMA	SUPERF.
Almeceas-Ricote	CUP 25 Sierra de Ricote	Ricote	Murcia	Región de Murcia	4,26
Ariza A	MUP Z0443 Dehesa carnífera y Cuesta mala	Ariza	Zaragoza	Aragón	7,41
Ariza B	MUP Z0443 Dehesa carnífera y Cuesta mala	Ariza	Zaragoza	Aragón	4,17
Ariza C	MUP Z0443 Dehesa carnífera y Cuesta mala	Ariza	Zaragoza	Aragón	8,23
Cabezo Negro	CUP 151 Cabezo Negro	Cieza	Murcia	Región de Murcia	4,01
Cabezo Tirieza	CUP 69 Cabezo de Tirieza y otros	Lorca	Murcia	Región de Murcia	4,94
Can Ponç	Propiedad Joan Soler	Castellgalí	Barcelona	Cataluña	3,71
Jérica	CS3021 La Muela, Roquetillo, Feliciano	Jérica	Castellón	Comun. Valenciana	4,98
Las Atalayas	CUP 44 Las Atalayas	Cieza	Murcia	Región de Murcia	4,04
Letur	MUP AB169 Las monericas	Letur	Albacete	Castilla-La Mancha	2,00
Vilanova de Meià	CUP 26B Garriga de Boada	Vilanova de Meià	Lleida	Cataluña	5,97
Villanueva de Huerva	MUP Z0032 Pinar y Dehesa	Villanueva de Huerva	Zaragoza	Aragón	5,77
TOTAL					59,49

Tabla 1. Resumen de rodales de actuación tipo C4.

5.3.2. PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO

Para evaluar los efectos de los tratamientos de diversificación estructural y florística, se han establecido parcelas de seguimiento adaptadas a la tipología de bosque. Estas parcelas han permitido caracterizar el estado inicial, monitorizar las intervenciones y calcular indicadores de adaptación, con el objetivo de analizar los cambios estructurales, florísticos y funcionales a lo largo del tiempo.

- Tratamientos por bosquetes: se han replanteado 2 parcelas circulares de 25 m de radio: una en el centro de un bosquete tratado y otra en una zona no intervenida (control).
- Tratamientos pie a pie: se establecen 4 parcelas circulares de 15 m de radio: dos dentro del rodal tratado y dos en zonas no tratadas (control).
- Tratamientos por fajas: se realizan 5 transectos lineales de 100 m que cruzan la faja desde zonas no cortadas hasta la siguiente área no cortada. Se georreferenciarán los puntos iniciales y finales, para poder realizar mediciones sucesivas.

Caracterización silvícola del rodal

Inventario del Estrato Arbóreo

Se ha realizado un inventario dasométrico de todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) > 5 cm. A nivel de cada árbol se registró:

- DAP, altura, especie y estado sanitario (presencia de muérdago, defoliación, hongos u otros problemas).
- La posición de cada árbol mediante GPS submétrico o rumbo y distancia al centro de la parcela (únicamente en 2 rodales).



Figura 5. Inventario del estrato arbóreo.



Figura 6. Regeneración en parcelas C4.

Inventario del Estrato Juvenil y regeneración

En una parcela concéntrica a la anterior, de 5 m de radio, se ha caracterizado el estrato juvenil y/o la regeneración:

- Densidad aproximada por especie, según los siguientes niveles:
 - Abundante (> 15 pies/parcela).
 - Normal (de 5 a 15 pies/parcela).
 - Escasa (< 5 pies/parcela).

Conteo de Pies Menores

Se contaron todos los individuos con altura > 1,30 m pero diámetro < 5 cm presentes en la parcela, sin medir el diámetro. Cuando estos individuos alcancen diámetros mayores a 5 cm, se medirán en futuros inventarios, lo que permitirá seguir la evolución estructural y dinámica del rodal.



Figura 7. Medición y caracterización del estrato arbustivo.

Caracterización del Estrato Arbustivo y Herbáceo

Se establecieron subparcelas cuadradas para un muestreo más detallado del estrato herbáceo y arbustivo. El número de subparcelas dependerá del tamaño de las parcelas de muestreo del estrato arbóreo:

- Parcelas de 25 m de radio: 4 subparcelas de 3 x 3 m.
- Parcelas de 15 m de radio: 2 subparcelas de 3 x 3 m.

Las subparcelas han de estar separadas entre sí y del borde de la parcela por al menos 3 metros. Cada subparcela se identificó de forma permanente mediante estacas, cintas u otros elementos. En cada subparcela se anotó:

- Especie
- Altura media del estrato arbustivo.
- Cobertura (%) por especie.

Caracterización del efecto de las actuaciones

La evaluación del efecto de las actuaciones se divide en tres ejes principales:

ESTRATO ARBÓREO

Tanto en las parcelas tratadas como en las de control, se evalúa el crecimiento en altura y DAP de todos los individuos de pino carrasco. En los casos en que los tratamientos busquen favorecer otras especies presentes en el subpiso (encinas, enebros...) el muestreo se centrará en ellas de manera particular, para determinar el efecto del tratamiento en su vigor y tasa de crecimiento, y por tanto en su capacidad de hacer frente a condiciones adversas derivadas del cambio climático.

ESTRATO ARBUSTIVO

El aumento de la disponibilidad de luz en el suelo tras los tratamientos favorecerá el desarrollo del sotobosque existente y la entrada de nuevas especies. Indicadores como la riqueza específica, el índice de diversidad de Shannon y el índice de persistencia evaluarán la respuesta de la comunidad. Este último mide la capacidad adaptativa de la comunidad ante perturbaciones considerando la riqueza y abundancia de rasgos de respuesta (Regos et al., 2023; Sánchez-Pinillos et al., 2016).

CONDICIONES AMBIENTALES EN EL SOTOBOSQUE

Evaluación de la disponibilidad de luz en el suelo

La luz disponible influye en numerosos procesos fisiológicos, morfológicos y reproductivos de plantas y animales y afecta de forma muy significativa al funcionamiento del ecosistema (KOHEN et al., 1995). Se han analizado los cambios en la disponibilidad de luz mediante fotografías hemisféricas tomadas hacia el dosel arbóreo con un lente ojo de pez, que posee un campo de visión de 180°.

Evaluación de la tasa de descomposición

Existe una gran variación global en las tasas de descomposición de materia orgánica vegetal, en ambientes fríos se ha observado que la descomposición es más lenta que en ambientes cálidos. Por otro lado, las descomposiciones rápidas liberan mayor CO₂ a la atmósfera mientras que una descomposición más lenta aumenta las reservas de carbono en el suelo o agua.

Se medirá la tasa de actividad del suelo a través del Tea Bag Index, que cuantifica la degradación y descomposición de bolsas de té de dos variedades (té verde y Rooibos), que se entierran en el suelo y, tras un intervalo de tiempo, se desentierran y se pesa su contenido (Keuskamp et al. 2023). Es un método reconocido y utilizado en muchas partes del mundo, con un protocolo bien definido y validado (disponible en la web del proyecto <http://www.teatime4science.org/method/stepwise-protocol/>).

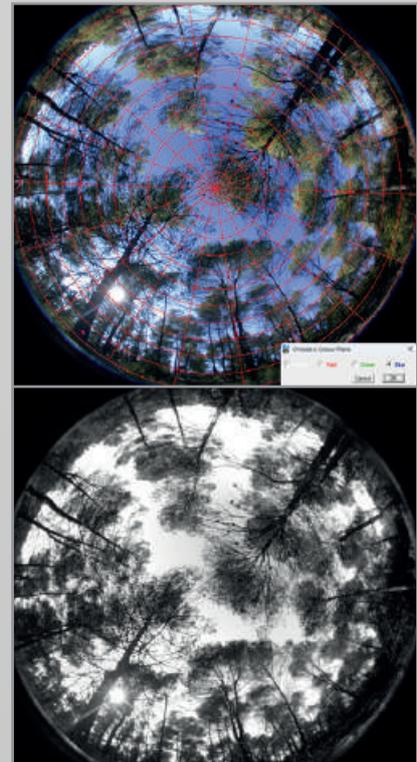


Figura 8. Evaluación de la disponibilidad de luz mediante fotos hemisféricas.



Figura 9. Disposición de las bolsas de té enterradas en el suelo.

5.3.3. RESULTADOS

Antes de la intervención, los rodales presentaban una alta densidad y competencia intraespecífica, lo que limitaba tanto el desarrollo de especies acompañantes como la regeneración natural.

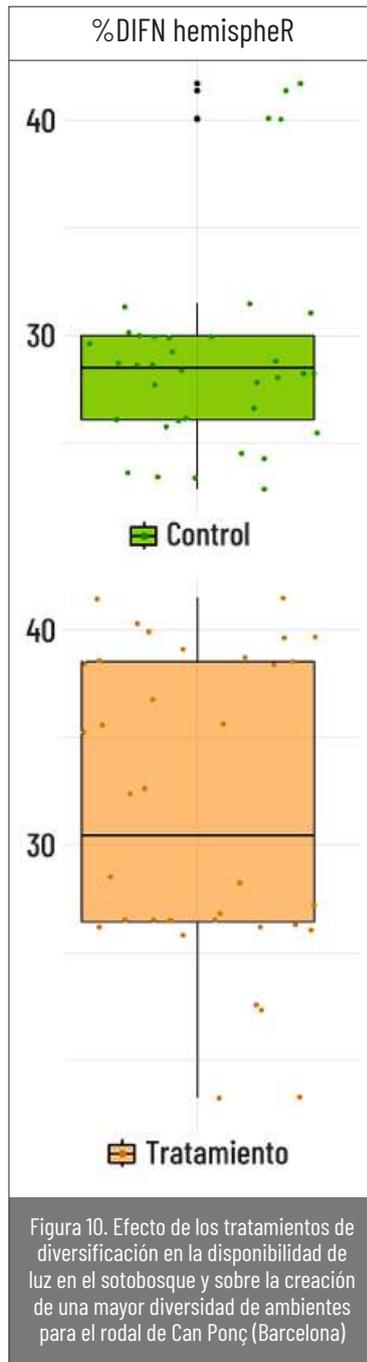
Efecto sobre el estrato arbóreo

Las actuaciones aplicadas en los pinares demostrativos han supuesto una reducción significativa de la densidad inicial (Tabla 2), lo que ha conllevado una disminución del área basimétrica y una apertura del dosel, mejorando la disponibilidad de luz en el suelo y creando condiciones más favorables para la diversificación del sotobosque y la regeneración de las especies objetivo. Esta reducción de la competencia ha favorecido el vigor de los árboles remanentes, mejorando su capacidad de adaptación a condiciones climáticas adversas y promoviendo su resiliencia a largo plazo. Aunque la evaluación de los efectos a corto plazo es limitada, los primeros datos sugieren que la menor densidad propicia un mayor crecimiento de los ejemplares seleccionados y una mejor estructuración del rodal, con la conservación de árboles de mayor tamaño como elementos clave para la regeneración futura.

TIPOLOGÍAS DE ACTUACIÓN	TRATAMIENTO	RODAL	EXTRACCIÓN DENSIDAD (%)	EXTRACCIÓN ÁREA BASIMÉTRICA (%)
TIPO 1. Fomentar regeneración natural	a) Regeneración por bosquetes	Almeces - Ricote	-59%	-74,2%
		Ariza B	-89%	-82,3%
		Letur	-89%	-77,9%
	b) Regeneración por fajas	Ariza C	-100%	-100%
	c) Aclareo Sucesivo Uniforme	Cabezo Tirieza	-50%	-50%
		Ariza A	-78%	-62,1%
TIPO 2. Liberación de competencia a especies acompañantes	d) Claras selectivas y/o mixtas	Cabezo Negro	-46%	-32,9%
		Can Ponç	-67%	-57,1%
		Jerica	-36%	-28,6%
		Las Atalayas	-50%	-33,1%
		Vilanova de Meià	-52%	-40,9%
TIPO 3. Fomentar estructuras de masa irregulares	e) Entresaca regularizada	Villanueva de Huerva	-18%	-2,2%

Tabla 2 . Extracción de densidad y área basimétrica en cada una de las tipologías de tratamientos de diversificación estructural y florística.

La extracción del área basimétrica es más significativa (se extrae de media un 80%) cuando se busca fomentar la regeneración natural, ya que permite una mayor disponibilidad de luz en el suelo. Sin embargo, esta cifra muestra cierta variabilidad, especialmente en el caso de la regeneración por fajas, donde se realiza una extracción del 100% debido a la apertura de franjas de 25 metros de ancho.



En los casos en los que se busca liberar la competencia para favorecer el desarrollo de especies acompañantes y, con ello, promover la diversidad, la extracción del área basimétrica media es de entre un 30 y un 40%.

Efecto sobre el estrato arbustivo

El impacto inicial de los tratamientos en el estrato arbustivo se traduce en una reducción de la fracción de cabida cubierta y una aparente disminución de la diversidad específica. Esto es consecuencia tanto del tránsito de maquinaria como del arrastre y procesamiento de los árboles cortados, también de la generación de una cobertura temporal de restos de corta sobre el sotobosque. Sin embargo, en un periodo relativamente corto, el estrato arbustivo muestra una capacidad de recuperación notable, adaptándose a las nuevas condiciones lumínicas y de competencia. Con el tiempo, puede contribuir a una mayor heterogeneidad estructural y funcional del ecosistema.

Efecto sobre las condiciones ambientales en el sotobosque

Los tratamientos aplicados han generado una mayor heterogeneidad en la estructura forestal, promoviendo la entrada de luz en el sotobosque y favoreciendo la diversificación de microambientes. Esta mayor disponibilidad de luz y recursos facilita el desarrollo de especies vegetales autóctonas y mejora el vigor de las existentes. A corto plazo, el impacto sobre la cobertura del sotobosque puede ser negativo debido a la perturbación generada, pero las observaciones iniciales indican que la respuesta de la vegetación es rápida y que el ecosistema tiende a recuperar su equilibrio, beneficiándose de una estructura más diversa y funcional.

Los resultados muestran una puesta en luz significativa en las parcelas tratadas, que penetra al sotobosque contribuyendo a ofrecer más oportunidades de regeneración (Figura 10).

Asimismo, los resultados preliminares sugieren una mayor actividad del suelo en las parcelas tratadas. Sin embargo, la alta tasa de predación de algunas de las bolsas de té ha impedido extraer conclusiones definitivas al respecto.

Efecto de la actuación sobre la resiliencia frente a perturbaciones

El monitoreo de las parcelas demostrativas de diversificación ha permitido cuantificar cómo se está promoviendo la capacidad de respuesta de los ecosistemas frente a las perturbaciones. Así, los valores del Índice de persistencia, que evalúa la abundancia y diversidad de rasgos de respuesta presentes en el rodal (Sánchez-Pinillos et al. 2016), han aumentado en todas las parcelas intervenidas, indicando que el bosque presenta una mayor cantidad de rasgos de respuesta que antes del tratamiento, por lo que es más resiliente a las perturbaciones asociadas al cambio climático (Tabla 3).

	CONTROL		TRATAMIENTO	
	PI ARBOLADO	PI MATORRAL	PI ARBOLADO	PI MATORRAL
General	0	+4.2%	+16.7%	+12.0%
Incendios	0	+5.6%	+12.8%	+14.3%
Sequía	0	+4.2%	+20.0%	+12.0%
Viento	0	+13%	+60.0%	+33.1%

Tabla 3. Incremento en los valores del índice de persistencia (PI) en función del tipo de parcela (control vs. tratamiento) y la perturbación considerada.

5.3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

La implementación de tratamientos selvícolas de diversificación estructural y florística conlleva un coste variable que oscila alrededor de los 3000 €/ha, dependiendo del tipo de tratamiento aplicado, la fisiografía del terreno y el acceso a la zona de actuación, entre otros factores. En términos generales, los tratamientos de mejora y las cortas preparatorias, así como la regeneración por bosquetes, presentan costes más elevados en comparación con el aclareo sucesivo uniforme o la entresaca regularizada.

Sin embargo, es importante destacar que estos costes solo incluyen la ejecución de los trabajos selvícolas, sin considerar los costes de redacción del proyecto técnico, el señalamiento ni el seguimiento del rodal tras la intervención. Estos dos últimos factores pueden suponer un incremento adicional en el presupuesto, especialmente si se requieren monitoreos a medio y largo plazo para evaluar la respuesta de la masa forestal y la efectividad de los tratamientos aplicados. Igualmente, los tratamientos pie a pie pueden implicar un coste añadido de señalamiento ya que, sobre todo en el caso de las claras selectivas, pueden requerir un marcado pie a pie de los árboles de futuro y/o de los competidores a eliminar. Dicho coste, que se añadiría al presentado aquí, puede resultar muy variable en función de las características de la masa y de la intervención a aplicar, pero también de la experiencia de técnicos y cuadrillas en este tipo de tratamiento.

Resumen	Costes (€/ha)
TRATAMIENTO SELVÍCOLAS DE MEJORA Y PREPARATORIAS	
Clareo no selectivo, 1200	608,44
Poda 750-1000 pies/ha, 1m, pendiente 25-50%	304,22
Recogida, apilado residuos de clareos y podas 25-35t	742,00
Eliminación astilladora residuos claras/clareo, poda 15-20t	1285,78
Tronzado de restos vegetales gruesos (d>18cm) -densidad media	144,76
	3085,20
TRATAMIENTO REGENERACIÓN POR BOSQUETES	
Clara pies inventariables <1200 pies/ha y bosquetes regenerados	521,52
Poda 400-600 pies/ha, pendiente <50%	217,30
Recogida, apilado residuos de clareos y podas 25-35t	742,00
Eliminación astilladora residuos claras/clareo, poda 15-20t	1285,78
Tronzado de restos vegetales gruesos (d>18cm) -densidad baja	236,48
	3003,08
ACLAREO SUCESIVO UNIFORME	
Apeo árboles diámetro>12 <=25 cm, densidad 750-1200 pies/ha	434,60
Poda 750-1000 pies/ha, 1m, pendiente 25-50%	304,22
Recogida, apilado residuos de clareos y podas 25-35t	742,00
Eliminación astilladora residuos claras/clareo, poda 15-20t	1285,78
Tronzado de restos vegetales gruesos (d>18cm) -densidad media	144,76
	2911,36
ENTRESACA REGULARIZADA	
Apeo árboles diámetro>12 <=25 cm, densidad 750-1200 pies/ha	434,60
Poda 750-1000 pies/ha, 1m, pendiente 25-50%	304,22
Recogida, apilado residuos de clareos y podas 25-35t	742,00
Eliminación astilladora residuos claras/clareo, poda 15-20t	1285,78
Tronzado de restos vegetales gruesos (d>18cm) -densidad media	144,76
	2911,36

5.4. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

La gestión de los pinares ibéricos de pino carrasco en el contexto del cambio climático requiere enfoques que favorezcan su estabilidad y capacidad de adaptación. La **diversificación estructural y florística** se presentan como estrategias clave para mejorar la resiliencia de estas masas forestales frente a perturbaciones como sequías e incendios. Esta guía ofrece recomendaciones técnicas fundamentadas en la experiencia del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO y en investigaciones previas, proporcionando herramientas prácticas para la implementación de tratamientos selvícolas adaptativos.

El aspecto más importante en la planificación de cualquier tratamiento es la definición clara de los **objetivos que se pretenden alcanzar** en el rodal. En este caso, la elección entre promover la diversificación estructural, composicional, o ambas, dependerá de la situación inicial de la masa, de la calidad de estación y sus limitaciones ecológicas y de los resultados esperados. Un diagnóstico previo adecuado permitirá seleccionar la estrategia más eficaz, optimizando los recursos y asegurando el éxito de la intervención.

5.4.1. RECOMENDACIONES PARA LA DIVERSIFICACIÓN FLORÍSTICA DE PINARES DE PINO CARRASCO

La diversificación florística en pinares de pino carrasco busca aumentar la presencia y peso de especies acompañantes, especialmente frondosas, fomentando su incorporación progresiva al estrato dominante, o al menos favoreciendo su vigor para asegurar su presencia en el tiempo. Con ello se pretende incrementar la diversidad del rodal y la resiliencia del ecosistema. Antes de definir la estrategia de actuación, es esencial evaluar la composición actual del rodal y la capacidad de establecimiento y/o de desarrollo de nuevas especies. Si ya existe un subpiso de especies acompañantes en estado incipiente, los tratamientos deberán centrarse en favorecer su desarrollo, reduciendo la competencia y asegurando suficiente luz y espacio.

Para ello se propone la realización de **claras selectivas** para favorecer el desarrollo de especies acompañantes, para lo que resulta fundamental identificar y favorecer las especies de frondosas presentes, identificando aquellas con potencialidad para incorporarse al estrato dominante o sub-dominante, y reduciendo la competencia del pino carrasco sobre estas especies para mejorar su acceso a la luz, el agua y los nutrientes. La clave del éxito de estas actuaciones radica en una planificación detallada basada en el diagnóstico previo del rodal. El **señalamiento pie a pie**, tanto de los árboles a promocionar como de aquellos a eliminar para lograr los objetivos, resulta un componente clave de estos tratamientos, si bien dificultan y encarecen su aplicación.

En los casos en que haya cierta agrupación de especies acompañantes en grupos o golpes, la apertura de **pequeños bosquetes** (< 10 m de radio) alrededor de ellos permitiría reducir de manera significativa los costes de aplicación del tratamiento, y además contribuirá a una diversificación estructural del rodal, además de la florística. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la apertura de bosquetes de mayor tamaño puede propiciar la regeneración del pino carrasco.

Además, en aquellos rodales en los que la presencia de especies accesorias o acompañantes sea escasa, se pueden complementar las claras selectivas con otros tratamientos que busquen mejorar el estado general de la masa. En concreto se propone la aplicación de **claras por lo bajo** que eliminen los pies dominados o malformados de pino carrasco.

En todos los casos se debe evitar cortar los pies de grandes dimensiones (DAP > 45 cm), independientemente de la especie, ya que suponen un activo fundamental para la diversificación estructural y biológica de los bosques de pino carrasco.

5.4.2. RECOMENDACIONES PARA LA DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FOMENTO DE LA REGENERACIÓN EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Para definir el tratamiento de diversificación estructural y regeneración más adecuado es fundamental evaluar si ya existe regeneración natural en el rodal, y en caso afirmativo, evaluar su patrón. Si la regeneración se produce de forma agrupada, con plántulas establecidas en golpes o grupos, será más eficiente promover la formación de bosquetes, facilitando su desarrollo y consolidación. Por el contrario, si la masa es regular y el regenerado se distribuye uniformemente el tratamiento deberá adaptarse a esta distribución y se proponen los tratamientos de aclareo sucesivo uniforme y en caso de que existan condicionantes operativos o un viento principal dominante, por fajas.

Aunque las masas de pino carrasco suelen presentar formas principales de masa regulares, si presentan cierta irregularidad pueden promoverse tratamientos de entresaca regularizada, respetando o fomentando la

irregularidad pie a pie. La planificación debe considerar la viabilidad operativa y económica, asegurando que la diversificación estructural se logre con el menor impacto y el mayor beneficio posible.

a) Regeneración por bosquetes

La apertura de bosquetes se recomienda en aquellas zonas donde ya exista regeneración natural y esta se presente de manera agrupada en golpes. La superficie de los bosquetes debe ser lo suficientemente grande para permitir una adecuada entrada de luz y favorecer el crecimiento de los nuevos individuos o de la regeneración pre-existente, pero sin comprometer la estabilidad del rodal circundante. Se recomienda diseñar aperturas amplias, de entre 15 a 30 metros de radio. Además, se debe considerar la distancia de dispersión del pino carrasco, que concentra la mayor parte de la dispersión a distancias inferiores a 20m (Nathan et al., 2000). Por lo tanto, para garantizar un adecuado aporte de semilla para una correcta regeneración, se recomienda la conservación de 5-7 árboles madre en el interior del bosquete, sobre todo en aquellos de mayor tamaño. Estos árboles madre se dejarán como legados en la masa una vez conseguida la regeneración, ya que constituirán un componente importante de la biodiversidad del ecosistema.

b) Regeneración por fajas

Se procederá a la apertura de fajas con una anchura aproximada de 1,5 veces la altura dominante, ya que se ha observado que la regeneración de *Pinus halepensis* es viable en huecos cuyo ancho sea igual o superior a la altura de los árboles de la masa (Carreras, 2006). Sin embargo, en ningún caso deberán superar los 30-35 metros de ancho, para asegurar una cierta protección al regenerado. Las fajas se dispondrán siempre en dirección perpendicular al viento dominante, con el fin de garantizar la estabilidad de la masa. Es importante que la faja comience en la zona menos expuesta del rodal para minimizar este impacto. Finalmente, se ajustará la frecuencia de intervención (un tiempo o dos tiempos) según la respuesta observada en el regenerado.

Además, se dejará en pie un golpe de árboles madre en el centro de la faja cada 20 o 25 metros. Igual que en el caso anterior, estos árboles madre deberán ser dejados como remanentes en la masa más allá del establecimiento exitoso de la regeneración.

c) Aclareo sucesivo uniforme

De acuerdo con los caracteres culturales de la especie, el tratamiento más adecuado para el mantenimiento y perpetuación de una masa regular de pino carrasco sería la corta a hecho en uno o dos tiempos (del Río et al. 2008). Históricamente se ha considerado que la aplicación de cortas por aclareo sucesivo uniforme no resultaba adecuada ya que el mantenimiento del estrato arbóreo durante un largo periodo provocaba un escaso desarrollo en el regenerado, y altas tasas de mortalidad en zonas de menor iluminación (Bedel J., 1986).

Sin embargo, en un contexto creciente de condiciones extremas se prevé que una mayor protección al regenerado será beneficioso para su implantación y desarrollo. Existen experiencias en las que la realización de claras o la apertura del dosel por algún tipo de perturbación (viento, enfermedades) ha propiciado la instalación de una cierta regeneración avanzada no prevista. Todo ello lleva a plantear la posibilidad de los tratamientos por aclareo sucesivo uniforme como alternativa válida para la regeneración de pino carrasco. No obstante, teniendo en cuenta el temperamento de la especie se propone la aplicación de una corta diseminatoria y una corta final. En las mejores estaciones, o cuando ya exista una cierta regeneración avanzada, la corta diseminatoria debe ser fuerte, con intensidades de corta realmente altas que nos recuerdan a una corta a hecho en dos tiempos. Si es posible se recomienda la conservación tras la corta final de algunos árboles maduros como arboles madre y como fuente de diversidad estructural y biológica en el rodal, si bien se debe tener en cuenta en todo momento que su número no llegue a condicionar el éxito del regenerado.

d) Entresaca regularizada

El mantenimiento de las masas de *Pinus halepensis* bajo la forma principal de masa irregular ha generado controversia entre los gestores. En cualquier caso, en numerosas estaciones mediterráneas existen masas naturales de *Pinus halepensis* que presentan una estructura compleja, resultado conjunto de perturbaciones naturales y acción humana y cuya gestión y mantenimiento requiere del planeamiento de esquemas específicos.

La entresaca regularizada es una variante que trata de evitar que las cortas tengan que recorrer el cuartel todos los años. Por ello se recomienda realizar intervenciones periódicas cada 5-8 años, lo que requerirá dividir la superficie de actuación en igual número de tramos de entresaca, recorriéndose un tramo diferente cada año. Por concentrar producto y reducir costes, se puede también agrupar tramos y realizar las intervenciones con periodicidades de varios años.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bedel J. (1986). Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française.
- Bravo-Oviedo, A. ; Concepción, E. D. ; & Ordóñez, C. ; B. (2022). El aclareo sucesivo irregular como opción para la diversificación de pinares monoespecíficos en el Suroeste de Europa. Sociedad Española de Ciencias Forestales (Ed.), 8o Congreso Forestal Español, Lleida.
- Carreras, C. (2006). Diversificación estructural de masas forestales artificiales. Resultados de ensayos en Andalucía Oriental. Invest Agrar: Sist Recur For, Fuera de s.
- Coll, L. (2023). Retos selvícolas para afrontar la adaptación de los bosques al cambio climático. Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales, 49(2). <https://doi.org/10.31167/csecfv0i49.19938>
- Collado, E., Coello, J., Beltrán, M., Moura de Abreu, L., Guitart, L., Palero, N., Vigué, V., Rovira, J., & Piqué, M. ; (2022). Gestión adaptativa y naturalística en bosques mixtos mediterráneos subúmedos de Cataluña: caracterización de los tratamientos y evaluación selvícola. Sociedad Española de Ciencias Forestales (Ed.), 8o Congreso Forestal Español, Lleida.
- del Río, M., Calama, R., Montero, G. (2008) Silvicultura de *Pinus halepensis*. En: Serrada, R. Montero, G., Reque, J.A. (eds) Compendio de silvicultura aplicada en España. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid
- Filotas, E., Parrott, L., Burton, P. J., Chazdon, R. L., Coates, K. D., Coll, L., Haeussler, S., Martin, K., Nocentini, S., Puettmann, K. J., Putz, F. E., Simard, S. W., & Messier, C. (2014). Viewing forests through the lens of complex systems science. Ecosphere, 5(1). <https://doi.org/10.1890/ES13-00182.1>
- Galiano, L., Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2010). Drought-Induced Multifactor Decline of Scots Pine in the Pyrenees and Potential Vegetation Change by the Expansion of Co-occurring Oak Species. Ecosystems, 13(7). <https://doi.org/10.1007/s10021-010-9368-8>
- Guiral, E. V., De Miguel Magaña, S., & Garcia, J. P. (2019). Tree species used in the reforestation of Spain since 1877 based on national forest maps. In Historia Agraria (Issue 77, pp. 107-136). Universidad de Murcia. <https://doi.org/10.26882/histagrar.077e05v>
- Jactel, H., Nicoll, B. C., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J. R., Grodzki, W., Långström, B., Moreira, F., Netherer, S., Christophe Orazio, C., Piou, D., Santos, H., Schelhaas, M. J., Tojic, K., & Vodde, F. (2009). The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. Annals of Forest Science, 66(7). <https://doi.org/10.1051/forest/2009054>
- Linares, J. C., Camarero, J. J., & Carreira, J. A. (2010). Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: Insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. Journal of Ecology, 98(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01645.x>
- Martín-Alcón, S., Ameztegui, A., & Coll, L. (2017). Diversificación o naturalización de las repoblaciones forestales. In J. Pemán & I. Iriarte (Eds.), 75 años de una ilusión: la restauración forestal de España. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Nathan, R., Safriel, U. N., Noy-Meir, I., & Schiller, G. (2000). Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. Ecology, 81(8). [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2156:svsda\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2156:svsda]2.0.co;2)
- Regos, A., Pais, S., Campos, J. C., & Lecina-Díaz, J. (2023). Nature-based solutions to wildfires in rural landscapes of Southern Europe: let's be fire-smart! International Journal of Wildland Fire, 32(6). <https://doi.org/10.1071/WF22094>
- Sánchez-Pinillos, M., Coll, L., De Cáceres, M., & Ameztegui, A. (2016). Assessing the persistence capacity of communities facing natural disturbances on the basis of species response traits. Ecological Indicators, 66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.024>

7. ANEJO FOTOGRÁFICO

Se muestra a continuación el estado de los rodales antes y después de la aplicación del tratamiento:





LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809)

“ADAPTIVE MANAGEMENT OF MEDITERRANEAN PINUS HALEPENSIS FORESTS IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE”

GUÍA TÉCNICA



IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS SELVÍCOLAS DE
DIVERSIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y FLORÍSTICA
EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO



Universitat
de Lleida



Universidad de
Castilla-La Mancha



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA