

75
Años



CONSORCI FORESTAL
DE CATALUNYA

Sumando personas,
bosque y territorio

40

JORNADAS
TÉCNICAS
SILVÍCOLAS
EMILI GAROLERA



Edita: *Consorci Forestal de Catalunya*

Coordinación de las jornadas:

*Josep M. Tusell - Ingeniero de Montes, CFC
Mario Beltrán - Ingeniero de Montes, CTFC
Gessamí Cases - Ingeniera Forestal, CFC
Eduard Busquets - Ingeniero Forestal, CTFC*

Coordinación del libro:

*Josep M. Tusell - Ingeniero de Montes, CFC
Gessamí Cases - Ingeniera Forestal, CFC
Eduard Busquets - Ingeniero Forestal, CTFC*

Diseño y maquetación: *MHÀ, estudi gràfic*
ISBN: 978-84-09-42221-0
GI 383-2020

Edición: *junio 2023*

Cita bibliográfica: *Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (Coords.). 2023. 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Consorci Forestal de Catalunya. Santa Coloma de Farners. 88 pág. ISBN: 978-84-09-42221-0*

40

JORNADAS
TÉCNICAS
SILVÍCOLAS
EMILI GAROLERA

Índice

	6
Emili Garolera i Bohils	8
J1_Restauración de la zona quemada del incendio de Queralt y Miralles	
Jordi Reixachs Rovira Pol Bacardit Tudela Josep Estruch Guix	22
J2_La procesadora forestal, la herramienta imprescindible para la gestión forestal	
Iolanda Domenjó Espada Gerard Alcoverro Poch Toni Cunill Montaña	32
J3_Restauración ecológica del paisaje post-incendio en la Fatarella: regeneración y gestión forestal de los pinares de pino carrasco y valorización de los productos en una biorefinería	
Teresa Cervera Zaragoza Noemí Palero Moreno Lluís Coll Mir Rut Domènech Jardí Eusebi Casanova Ventura Neus Puy Marimon	44
J4_ Enfermedades foliares de los pinares: situación de los hongos patógenos <i>Diplodia sapinea</i> y <i>Dothistroma sp.</i> en Cataluña	
Francesc Serradó Mestres María Caballol Alsinella Tomeu Rigo Ribas Carme Farnell Barqué Jonàs Oliva Palau	54
J5_ Uso de la madera local para la construcción industrializada	
Mario Beltrán Barba Sergi Sebastia Jordi Gené Sera Jorge Mercader Esteve Cristina Montserrat Rodríguez	64
J6_Prevenición de riesgos laborales y procedimientos de trabajo en la mecanización de los trabajos forestales	
Oscar Garcia Companyns Dani Tarrés Céspedes Miquel Bautista Lupiañez	76
J7_La mejora genética forestal en Cataluña: los fundamentos de la plantación forestal	
Neus Aletà Soler Rut Sánchez Bragao Miquel Segarra Trepal Jaime Coello Gómez Joan Abel Bachs Anna Teixidó Compañó	

40

JORNADAS
TÉCNICAS
SILVÍCOLAS
EMILI GAROLERA

40 JTS EMILI GAROLERA

Tenéis en vuestra mano el libro de la 40ª edición de las Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera, una edición enmarcada en un año lleno de celebraciones. Por un lado, las propias Jornadas que ya han llegado a las 40 ediciones –¡que no son pocas!– con el mismo objetivo con el que nacieron: ser un punto de encuentro de propietarios y gestores forestales para intercambiar ideas, opiniones y experiencias, y aprender de los logros y aciertos, así como de los errores y los fracasos. Un año en que también celebramos el centenario del nacimiento de uno de los fundadores y promotores de las Jornadas: Emili Garolera, que junto con otras personas y con sus inquietudes y ganas de hacer extensibles sus experiencias, iniciaron estos encuentros donde año tras año han sido un punto de encuentro para más de 200 personas en diferentes visitas al bosque. Y finalmente, este año 2023 celebramos los 75 años del Consorci Forestal de Catalunya, un hito importantísimo para una asociación, la más antigua del Estado español y una de las primeras en Europa, formada por silvicultores comprometidos con la gestión y conservación de los bosques.

En esta edición hemos visitado bosques y experiencias de restauración de zonas quemadas en los últimos 2-3 años y zonas quemadas hace ya más de 30 años, para plantear qué hacer después de un incendio y para comprobar los resultados de los trabajos realizados después del paso del fuego y los trabajos que deben abordarse con el regenerado que se consolida en estos espacios. También hemos hablado de la necesaria mecanización de los trabajos forestales y de la necesaria formación para su ejecución. En las comarcas centrales hemos visitado bosques afectados por plagas y enfermedades, efectos que cada vez están más presentes e intensos en toda la geografía catalana, y que nos obligan a modificar la gestión prevista en estos bosques para tratar de revertir la situación creada por el paso de la perturbación. Y finalmente hemos tratado temas como el uso de la madera para la construcción industrializada y temas como la mejora genética como herramienta para poder producir material forestal para reforestaciones que nos ayude a alcanzar los objetivos en cuanto a la calidad de la madera y sus posibles usos. Toda una serie de propuestas que trabajamos en el inicio de la organización de esta edición y que el conjunto de los asistentes ha valorado positivamente durante la realización de las diferentes jornadas. Nos ha quedado una jornada por hacer, la que hacía referencia a la compatibilización de la gestión forestal con la caza, la protección del medio y los demás usos que se desarrollan en un mismo espacio. La imposibilidad de realizarla en esta edición no deja que sigamos con la idea y que, a poder ser, la recuperemos para próximas ediciones.

Finalmente, no se puede terminar esta introducción del libro que recoge las ponencias de todas y cada una de las Jornadas de este año (en la web del Consorci encontrareis las publicaciones de los años anteriores –www.forestal.cat–), sin agradecer la implicación y dedicación de los coordinadores del libro y de cada una de las jornadas. Sólo con su compromiso podemos alcanzar el nivel exigido y necesario para seguir ofreciendo unas Jornadas que son un referente en lo que se refiere a la formación, divulgación y extensión de la gestión forestal. Hay que destacar, también, la implicación de las entidades e industrias del sector forestal que apoyan la realización de las Jornadas. Su colaboración ayuda a sembrar la gestión que hace posible que nuestros bosques sean productivos y que la industria catalana pueda trabajar en madera de proximidad. Y finalmente, agradecer a todos los propietarios, silvicultores, gestores forestales, técnicos, y todas las personas que les mueve el interés por los bosques, ya que su participación y sus aportaciones en las diferentes jornadas nos espolean a seguir organizando y mejorando las Jornadas.

Josep M. Tusell

*Responsable técnico del CFC y co-coordinador de las Jornadas
Consorci Forestal de Catalunya*





Emili Garolera i Bohils

(Arbúcies 1923 - 2008)

El 21 de marzo de 2023, Día Internacional de los Bosques, ha cumplido 100 años del nacimiento de Emili Garolera.

Fue socio fundador del Consorci Forestal de Catalunya, propietario forestal y uno de los silvicultores más destacados de nuestro país, a quien entre otros se le otorgó la Medalla al Mérito Agrícola en 1967. Entre 1980 y 1987 fue presidente del Consorci Forestal y después presidente honorario en reconocimiento a su gran labor.

Impulsor en el año 1983 de las Jornadas Técnicas Silvícolas, tenía entre sus objetivos promover la pasión por los bosques y la transmisión e intercambio de información y experiencias entre los propietarios forestales, contribuyendo así a la mejora de la gestión forestal en nuestra casa. Desde entonces, las Jornadas no han dejado de celebrarse ningún año y han sido un referente para muchos socios, estudiantes y profesionales del sector.



Entrevista a Emili Garolera

Catalunya Forestal _ julio 2006 [página 30 y siguientes]



JORNADA

1

Restauración de la zona quemada del incendio de Queralt y Miralles

Jordi Reixachs Rovira. Propietario Forestal. Miembro de la Junta del CFC y presidente de la Associació de Propietaris Forestals Serres de Miralles-Orpinell.

Pol Bacardit Tudela. Ingeniero Forestal. Técnico de la Diputación de Barcelona.

Josep Estruch Guix. Facultativo Forestal. Técnico de los Servicios Territoriales en la Cataluña Central (DACC).

Reixachs, J., Bacardit, P., Estruch, J. 2023. Restauración de la zona quemada del incendio de Queralt y Miralles. A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 8-21.

RESUMEN

El 24 de julio de 2021 se produjo el incendio de la Serra de Queralt y la Serra de Miralles afectando principalmente a los municipios de Bellprat, Santa María de Miralles y Sant Martí de Tous (Anoia) con un total de 1.823,90 ha de las cuales 1.388,84 ha (76%) eran forestales.

Por este motivo, se inició la redacción de un proyecto de restauración conjunto de la zona afectada. Los objetivos de este proyecto son: la planificación y gestión forestal post-incendio a nivel de paisaje, la regeneración de la cubierta vegetal, la reducción de la erosión y la conservación de la fertilidad del suelo. Se diseñaron y delimitaron 7 tipos de actuaciones en función de la pendiente, la erosionabilidad potencial, la intensidad del fuego y la morfología de las vertientes.

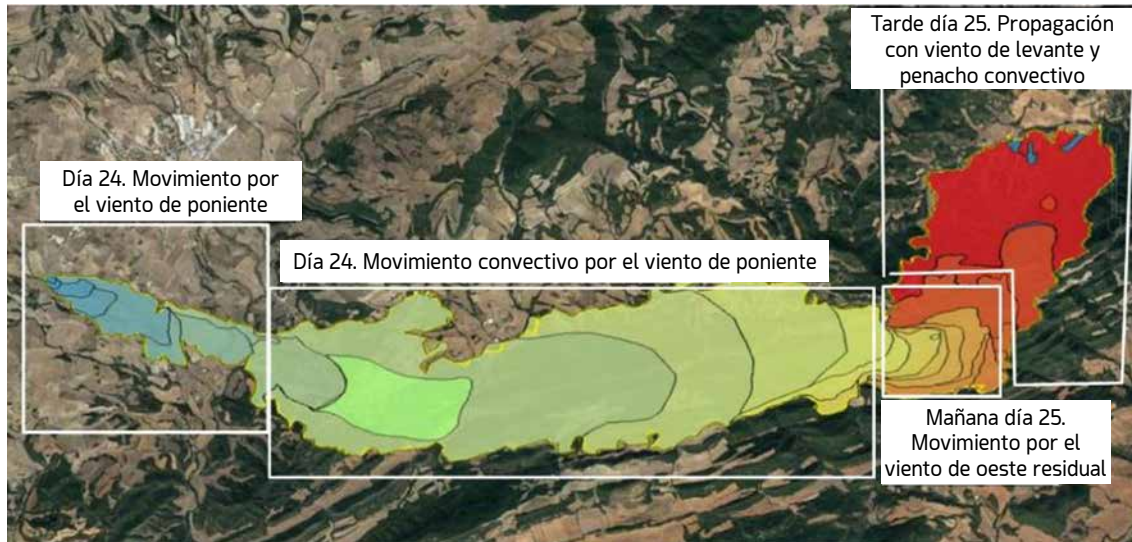


Figura 1. Evolución del incendio de Santa Coloma de Queralt. Fuente: Fire Information Sheet Santa Coloma de Queralt, RET, 24/07/2021, 1.789 N.S.G. (210413749). Bomberos GRAF de la Generalitat de Catalunya.

Características y comportamiento del incendio forestal

El incendio de Santa Coloma de Queralt se inició el sábado 24 de julio de 2021 y se controló tres días después (*Figura 1*). Su inicio fué en el margen de la carretera C-37 y se propagó rápidamente por los campos de cereal (la mayoría sin segar) conducido por el viento de poniente. Al llegar a la Sierra de Queralt se convirtió en un incendio convectivo con antorcheo de copas, generando focos secundarios incluso a 500 m del frente de llamas. La velocidad de propagación fue muy rápida (2,5-3,3 km/h), ya que en la zona todavía había muchos campos de cereal sin segar y la humedad era muy baja. Al final del primer día el incendio ya había quemado unas 1.000 ha.

Desde la madrugada y durante la mañana del día 25 de julio se trabajó para acordonar el incendio en campos y caminos, tanto el flanco izquierdo como el derecho. A partir de mediodía se trabajó en puntos calientes dentro del incendio y con la entrada de la marinada a media tarde se formó un pirocúmulo, que al desplomarse incrementó 300 ha la superficie quemada en menos de una hora. Este comportamiento extremo provocó la entrada del incendio en el término municipal de Sant Martí de Tous (*Tabla 1*), quemando zonas de mosaico agroforestal de los que la gran mayoría de los campos ya estaban labrados, sin embargo, sirvieron para acabar de anclarlo. El incendio, finalmente, pudo ser estabilizado la madrugada del 26 de julio, gracias a la ayuda de la subida de humedad.

Tabla 1. Superficie quemada por municipios

Municipio	Superficie total (ha)	Superficie forestal (ha)
Bellprat	1.114,08	840,39
Sant Martí de Tous	288,69	246,57
Santa Maria de Miralles	276,15	271,80
Les Piles	71,54	9,49
Santa Coloma de Queralt	47,53	2,38
Pontils	25,91	18,22
Total	1.823,90	1.388,84

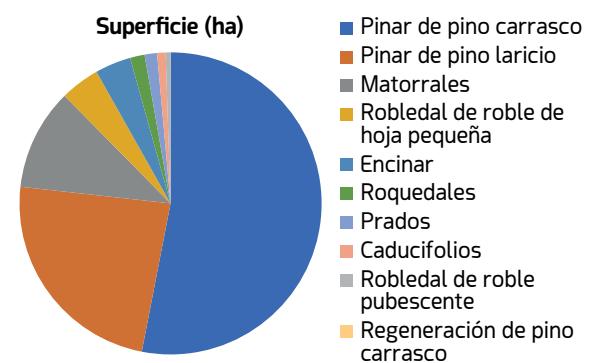


Figura 2. Formaciones forestales de la zona afectada por el incendio. Fuente: Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña 2009. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

De la superficie total afectada, 1.302,33 ha (94%) forman parte del Espacio Natural Protegido del Sistema Prelitoral Central y de la Red Natura 2000 (Figura 2).

El 94% de la zona afectada ardió con alta intensidad (Fotografía 1). Sin embargo, algunas vertientes encaradas al este (con fuego descendente) y algunas hondonadas de la Sierra de Miralles quedaron parcialmente quemadas con pequeñas manchas que tan sólo estaban quemadas superficialmente. En las zonas del perímetro del incendio, como viene siendo habitual, también había una franja de árboles parcialmente afectados (Fotografías 2 y 3).



Fotografía 1. Zona calcinada con alta intensidad.



Fotografía 2. Afectaciones con diferentes intensidades.



Fotografía 3. Incendio de superficie.



Figura 3. Áreas de Gestión Prioritarias (AGP) gestionadas por la APF Serres de Miralles-Orpinell en el ámbito del incendio.

Antecedentes de los trabajos realizados frente la prevención de incendios forestales

Desde el año 2011 en el ámbito afectado por el incendio, la Associació de Propietaris Forestals Serres de Miralles-Orpinell realiza gestión forestal conjunta para la prevención de incendios forestales en el marco del convenio de colaboración entre la Diputació de Barcelona, el Consejo Comarcal de Anoia y los 13 ayuntamientos del ámbito de la asociación (Figura 3).

La estructura del bosque una vez realizados los trabajos de cortas de mejora en el año 2011 en la finca Riudeboix (Bellprat) era de baja vulnerabilidad al fuego de copas. Esta estructura sirvió para que los bomberos pudieran realizar maniobras y así evitar la apertura del flanco derecho en dirección Santa Maria de Miralles por la carretera C-432. Del mismo modo, la franja de baja combustibilidad del camino del Coll de Tresserres realizada en el año 2013 en 4 fincas de Sant Martí de Tous y Santa Maria de Miralles, sirvió para que el incendio quemara con menor intensidad (Fotografía 3) y facilitó los trabajos de extinción de los bomberos.

Condicionantes de ejecución del departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural (DACC)

Para realizar los trabajos forestales post-incendio, en agosto de 2021, el DACC puso unos condicionantes de ejecución en función de la siguiente zonificación (Figura 4).

- **Zona prioridad I.** Superficie con pendiente superior al 35%, con afectación de fuego de alta intensidad. Eliminación total de la capa vegetal y muerte del 100% del arbolado.
- **Zona prioridad II.** Superficie con pendiente inferior al 35%, con afectación de fuego de alta intensidad. Eliminación total de la capa vegetal y muerte del 100% del arbolado.
- **Zona prioridad III.** Superficie con pendiente variable, con afectación de fuego de baja intensidad. Se mantiene la masa forestal afectada juntamente con árboles vivos.
- **Zona prioridad IV.** Superficie con pendiente variable, fuego de superficie con efectos sobre el estrato herbáceo y arbustivo, con poca afectación a la masa arbolada.

Trabajos en la zona I

- Se estableció realizar prioritariamente obras de corrección hidrológica con la construcción de fajas y/o acordonamiento de restos perpendiculares a la pendiente para retener el suelo y controlar la erosión. Estas infraestructuras se construyeron con los troncos y ramas de los árboles quemados.

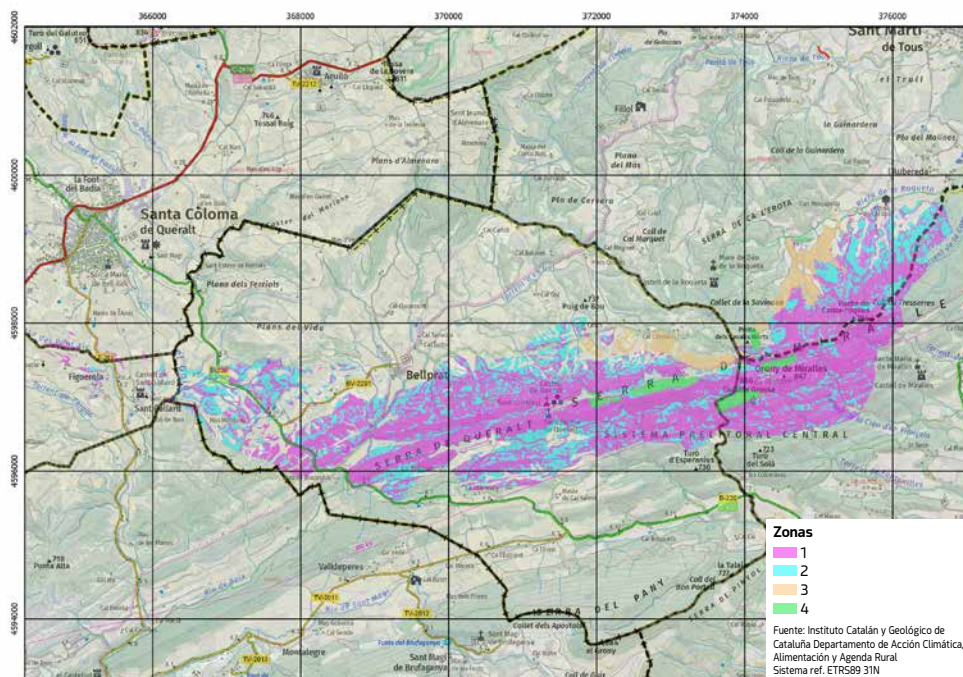


Figura 4. Mapa de la zonificación.

Trabajos en la zona II

- Se estableció realizar una extracción de la madera existente para no dificultar la regeneración natural.
- En general, se estableció que la restauración de estas superficies y las medidas de contención de la erosión se harían dejando los restos vegetales generados no aprovechables (madera no comercial, copas y ramas), repartidas homogéneamente sobre el terreno a ras de suelo. El reparto de los restos no podía superar el metro de altura y no se autorizó el aprovechamiento del árbol entero.
- No se permite realizar actividades de pastoreo en la zona hasta que no se recupere la cubierta vegetal. Inicialmente por un período de dos años, revisable el primer año.

Trabajos en la red de drenaje

- A lo largo de la red de drenaje se estableció realizar pequeñas barreras de retención con la madera más grande de las zonas cercanas. Estas barreras podían reforzarse con piedras de la zona. La anchura de estas fue variable según el torrente y la altura que pueda permitir la configuración de este.
- Para evitar el excesivo impacto en la zona se estableció realizarlo de forma manual, para evitar el acceso con maquinaria pesada.

Proyecto de restauración conjunto

La Diputación de Barcelona, en el marco del convenio de colaboración con la Associació de Propietaris Forestals Sierras de Miralles-Orpinell y de los Ayuntamientos de su ámbito territorial, redactó el "Proyecto de restauración de la zona quemada en el incendio forestal del 24 de julio de 2021 en la Sierra de Queralt y la Sierra de Miralles". Este proyecto contó con la colaboración del Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural (DACC) y el Centro de la Propiedad Forestal. El hecho de la existencia de una asociación de propietarios forestales consolidada en el territorio, con estructura y mecanismos de colaboración con los propietarios forestales, permitió que se pudiera actuar pocos meses después del incendio, ofreciéndoles una alternativa de restauración de sus propiedades con perspectiva de territorio.

Planificación de los trabajos forestales

El área afectada por el incendio se sectorizó en zonas físicas con características y actuaciones similares. En cada zona se le aplicó unos condicionantes de trabajo con el objetivo general de controlar la erosión inicial y favorecer la restauración del entorno natural. Asimismo,

se priorizaron los trabajos según su situación más propicia a sufrir episodios erosivos irreversibles. Para su determinación se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

- Pendientes: baja <35%, media 35-60%, alta >60% (Figura 5).

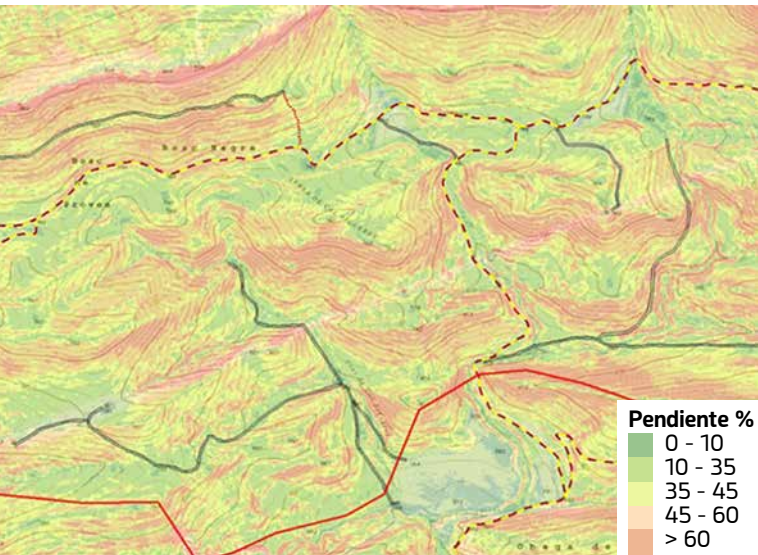


Figura 5. Mapa de pendientes.

- Erosionabilidad potencial: Fruto de la intersección entre el mapa de grandes unidades geomorfológicas y el mapa de grandes unidades litológicas y categorización del potencial de erosionabilidad (Figura 6).

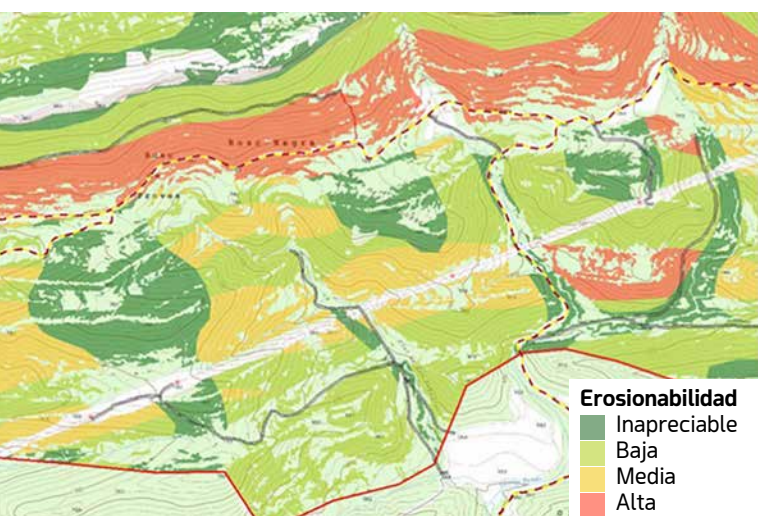


Figura 6. Mapa del potencial erosionabilidad.

- Intensidad de quema del incendio: analizada mediante teledetección con el índice

de Normalized Burn Ratio (NBR). El NBR es el índice más habitual para valorar los distintos grados de intensidad de un incendio (Figura 7). Se utilizaron imágenes de satélite (Sentinel Hubo Eo Browser) del 18 de agosto de 2021.

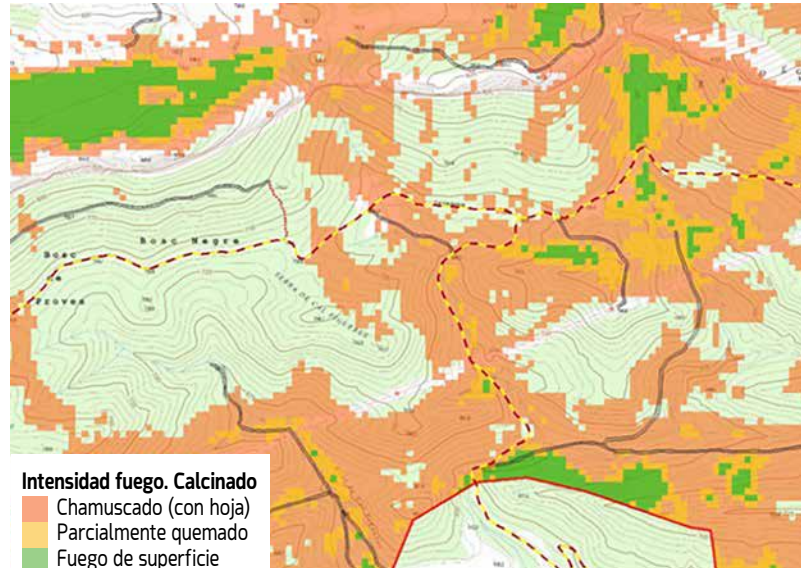


Figura 7. Mapa de las distintas intensidades de quema.

Por otra parte, se identificaron y delimitaron las vertientes según las siguientes variables:

- Laderas largas (> 80 m) y sin discontinuidades (uniformes).
- Laderas cortas (<80m) o con discontinuidades.
- Presencia de afloramientos rocosos: Losas continuas provocando poca profundidad de suelo o presencia de roca disgregada.
- Presencia de márgenes de piedra: vertientes afajadas o antiguas zonas de cultivo.
- Presencia de especies rebrotadoras.
- Presencia de caminos que cortan la vertiente cruzando paralelas a las curvas de nivel.
- Partes bajas de laderas y márgenes entre campos: zonas de mosaico agroforestal.

Clasificación de las prioridades

En base a los condicionantes de actuación del DACC y el análisis de las anteriores variables se definieron 7 tipos de actuaciones (Tabla 2 y Figura 8).

Tabla 2. Prioridad y clasificación de las actuaciones según el “Proyecto de restauración de la zona quemada en el incendio forestal del 24 de julio de 2021 en la Sierra de Queralt y la Sierra de Miralles”.

Prioridad DACC	Clasificación proyecto restauración	Definición	Actuaciones contra la erosión	Aprovechamientos madereros
1	A	Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente alta >60%. Erosionabilidad media y alta. Laderas largas y uniformes (sin discontinuidades).	Fajinas/acordonado y Embarradas en los torrentes.	Excepcionalmente, se puede aprovechar los árboles comerciales en tronco cerca de caminos.
	B	Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente media entre el 35% y el 60%. Erosionabilidad media. B.1: Laderas cortas, con discontinuidades y pendiente media. B.2: Laderas largas, con poca profundidad de suelo y afloramientos rocosos (losa) pero pendiente media y baja. Presencia de torrentes o zonas cóncavas en la dirección de la escorrentía superficial.	Embarradas en torrenteras y zonas cóncavas de concentración de escorrentía superficial. Cortar y trocear la vegetación quemada, restos repartidos sobre el terreno y dispuestas en dirección a las curvas de nivel.	Aprovechamiento de árboles comerciales en tronco cerca de caminos y zonas de fácil acceso.
2	C	Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente media-baja <35%. Erosionabilidad media-baja. Laderas cortas o con discontinuidades, vertientes añadidas o partes bajas de vertiente.	Cortar y trocear el árbol no comercial, restos repartidos sobre el terreno.	Aprovechamiento de árboles comerciales en tronco. En las zonas inaccesibles, cortar y trocear los árboles <i>in situ</i> .
	D	Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente baja <35%. Erosionabilidad baja. Partes bajas de vertiente, vertientes añadidas o márgenes de campos.	Desramar la madera de sierra <i>in situ</i> y los árboles no comerciales troceados y esparcidos uniformemente. Dejar mínimo 15 t/ha de restos vegetales troceados in situ y esparcidos.	Aprovechamiento de árbol entero y calles predefinidas (con ramaje esparcido) quedando en el terreno los restos vegetales mínimos especificados. En las zonas inaccesibles o puntualmente por encima del 35% de pendiente, cortar y trocear la vegetación <i>in situ</i> .
	E	Zonas con regenerado o pocas existencias (<10 m ² /ha AB) y diámetros pequeños (<15cm). Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente media-baja.	Cortar y trocear los árboles. Dejar los restos esparcidos sobre el terreno paralelo a las curvas de nivel. Siempre que sea posible, en torrenteras y zonas cóncavas, se tendrán que dejar ramas esparcidas y troceadas.	Sin aprovechamiento comercial.
	F	Zonas de matorral y/o árboles aislados. Fuego de alta intensidad produciendo una alta mortalidad. Pendiente media-baja.	Sin actuación.	Sin aprovechamiento comercial.
3 i 4	G	Fuego de baja intensidad o de superficie, arbolado parcialmente quemado. Cualquier pendiente.	Cortar y trocear los árboles no comerciales. Dejar los restos esparcidos sobre el terreno.	Esperar un mínimo de 3 meses para realizar actuaciones en esta zona. Aprovechamiento de árboles comerciales en tronco. En las zonas inaccesibles, cortar y trocear <i>in situ</i> .

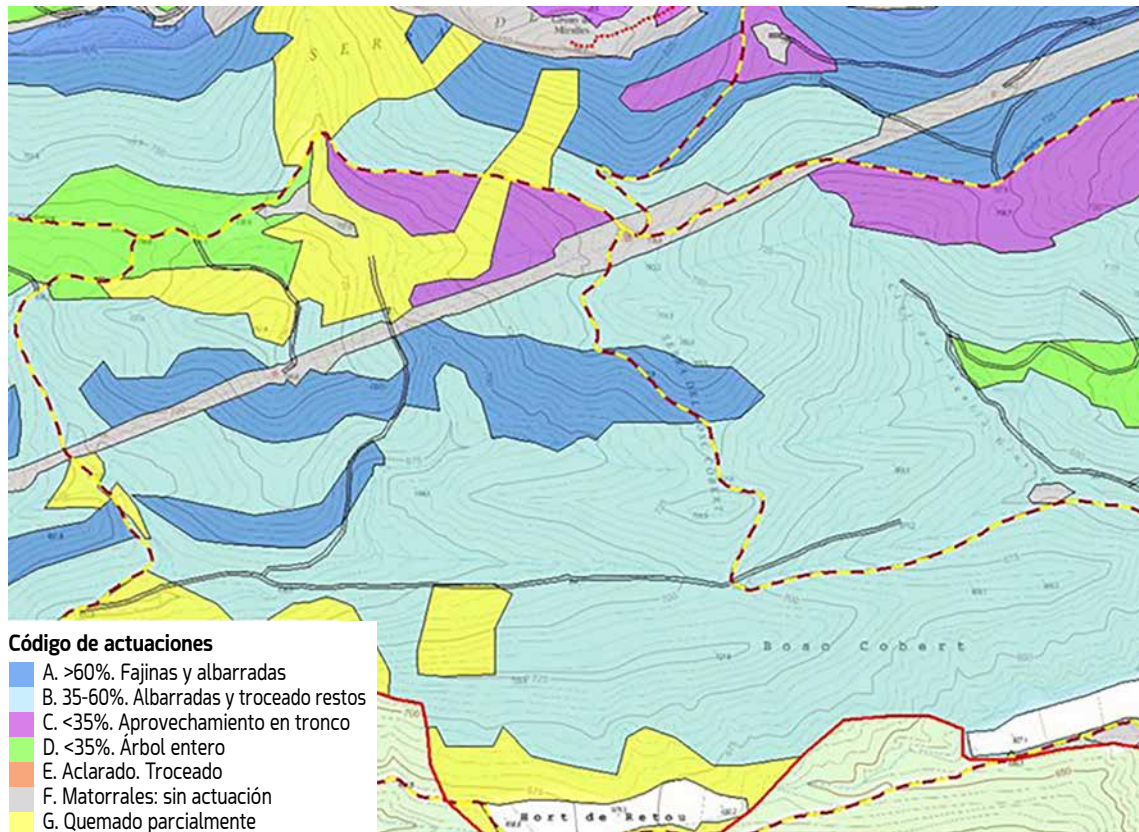


Figura 8. Mapa de la zonificación de las actuaciones de una finca adherida al proyecto conjunto.

Condicionantes generales

Se cortan los árboles quemados muertos, los afectados por plagas y aquellos árboles sin posibilidad de supervivencia con más de 2/3 de afectación de copa quemada. En el caso de encinas y robles también se cortan aquellos que están rebrotando de cepa y sólo tengan algunos brotes verdes en los extremos de las ramas. Los restos de ramaje, árboles no comerciales y árboles de las zonas no accesibles, se trocean a una longitud inferior a 1,5 metros disponiéndolos a ras de suelo.

El desembosque de la madera comercial se extrae por los caminos de desembosque y arrastres. Cuando se transita por dentro del bosque con maquinaria no se realizan calles uniformes con máxima pendiente, sino que se realizan las mínimas pasadas y entradas y, siempre que sea posible, dirigirlas paralelamente a las curvas de nivel o por los bancales.

Medidas de fomento de la biodiversidad

La presencia de vegetación quemada en pie favorece la biodiversidad ya que potencia la

creación de ecotonos. Es por ello que, como medida genérica, en toda la zona quemada se ha mantenido un mínimo de 5-10 pies/ha distribuidos homogéneamente que actúan temporalmente como árboles pértiga para la avifauna y favorece la entomofauna saprofítica, fomentando el papel funcional de la madera quemada y su aporte como materia orgánica al ecosistema forestal. Dentro de ese grupo, al menos 3 son de la mayor clase diamétrica de la zona.

Trabajos realizados del proyecto de restauración conjunto

Desde diciembre de 2021 se están realizando los trabajos de forma ininterrumpida en las 13 fincas (Figura 9 y Tabla 3) que se adherieron al proyecto de restauración conjunto y que representan unas 547 ha arboladas. Los trabajos de restauración del proyecto conjunto se han promovido por la Associació de Propietaris Forestals Serres de Miralles-Orpinell y se han financiado desde la Diputación de Barcelona.

En las fincas asociadas que se han adherido al proyecto se han realizado las actuaciones en la totalidad de la zona afectada por el incendio

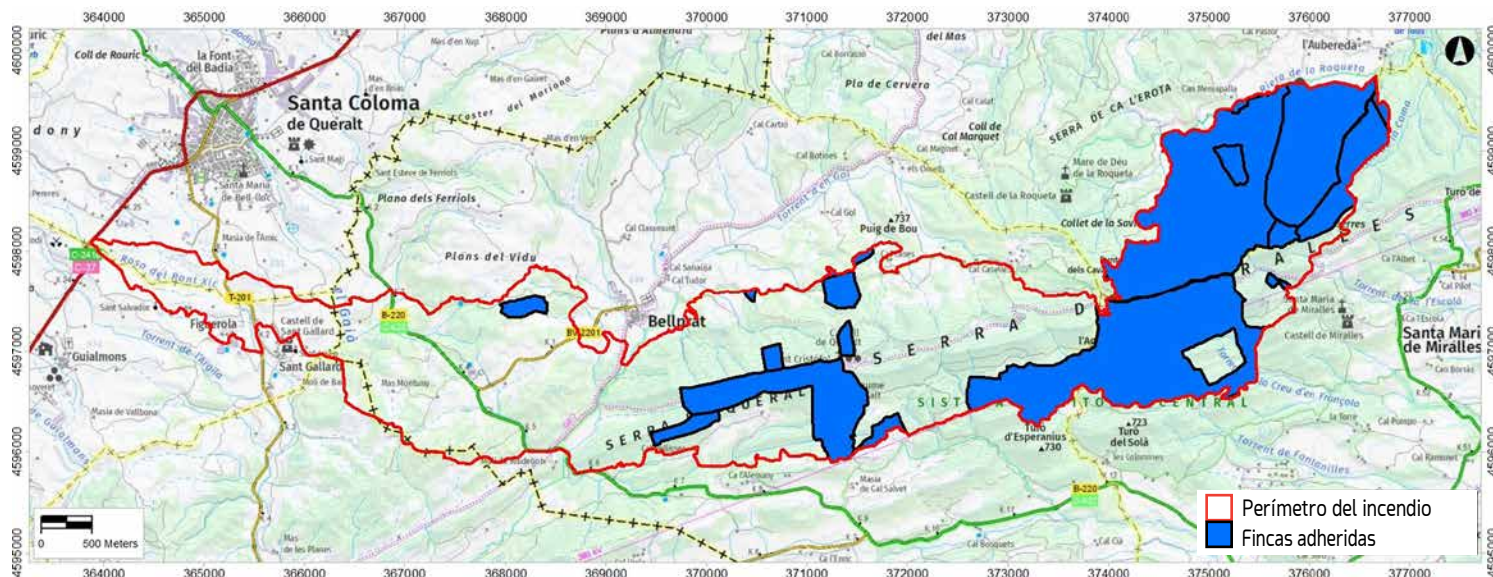


Figura 9. Fincas adheridas al proyecto de restauración conjunto que se han gestionado desde la APF Serres de Miralles-Orpinell.

Tabla 3. Actuaciones silvícolas realizadas y pendientes de realizar del proyecto de restauración conjunto.

Actuaciones silvícolas	Superficie ejecutada (ha)	Superficie en ejecución o pendiente de ejecutar (ha)	Coste (€/ha)*
Zonas con código A	27,77	26,28	1.740-1.950
Zonas con código B	238,55	50,05	640-1.160
Zonas con código C	52,80	74,56	290-590
Zonas con código D	47,30	0,00	130-240
Zonas con código E	0,00	2,69	600-850
Zonas con código F**	0,00	0,00	0
Zonas con código G	15,10	11,68	260-760
TOTAL	381,52	165,26	

* Coste de los trabajos por hectárea descontando los ingresos de madera. IVA no incluido.

** Alrededor de 42 hectáreas no eran arboladas (matorrales o roquedales) y no se realizó ninguna actuación.



Fotografía 4. Trabajos en zonas con código B (pendiente media entre el 35% y el 60%). Aprovechamiento del tronco en las partes accesibles. En las zonas con más pendiente y de difícil acceso, los troncos y las ramas se dejan dispuestas paralelamente a las curvas de nivel.



Fotografía 5. Trabajos en zonas con código G (quemado parcialmente). Aprovechamiento del tronco de los árboles quemados, árboles no comerciales. La rama se deja troceada y esparcida sobre el terreno.

(Fotografías 4 y 5). En algunas fincas se han realizado arreglos y aperturas de caminos de desem-bosque para extraer la madera comercial (Tabla 4). También se han construido nuevos caminos de la Red Viaria Básica que estaban planificados en los Planes de Prevención de Incendios municipales y en los PTGMF (Fotografía 6). Estos nuevos caminos han sido imprescindibles para acceder a grandes extensiones inaccesibles y como alternativa a caminos de la Red Viaria Básica que presentaban puntos críticos y dificultaban el tráfico de camiones para extraer la madera.

Trabajos demostrativos realizados por el DACC

El DACC realizó trabajos demostrativos en una zona accesible y visible por la población local. Esta zona se encuentra junto a la antigua carretera de acceso a Bellprat, en la finca de Riudeboix.

Tabla 4. Actuaciones en la red viaria realizadas y pendientes de realizar del proyecto de restauración conjunto.

Actuaciones a la red viaria	Longitud ejecutada (km)	Longitud en ejecución o pendiente de ejecutar (km)	Coste (€/km)*
Obertura de caminos de la red viaria básica	3,50	0,00	5.900-8.580
Reparación de caminos de desem-bosque	6,61	1,30	1.200-1.375
Obertura de caminos de desem-bosque	2,07	0,85	3.415-4.320
TOTAL	12,18	2,15	

*IVA no incluido.



Fotografía 6. Apertura de caminos de la Red Viaria básica en Sant Martí de Tous.

Los trabajos que se realizaron son:

- Fajinas en las zonas con más del 35% de pendiente (*Fotografías 7 y 8*).
- Barreras de contención en las zonas de riegos y torrentes (*Fotografías 9 y 10*).



Fotografía 7. Zona quemada antes de los trabajos de construcción de fajinas.



Fotografía 8. Zona quemada después de la construcción de fajinas.



Fotografía 9. Antes de los trabajos.



Fotografía 10. Después de los trabajos.

Las actuaciones en las zonas de más del 35% de pendiente se construyeron fajinas, ocupando unas 20 ha de la finca Riudeboix (Bellprat) con un coste de 1.500 €/ha (IVA no incluido).

En las zonas junto a los campos (con menos del 35% de pendiente) el propietario aprovechó la madera, dejando la rama sobre el terreno. Puntualmente se sacó el árbol entero.

En torrentes y acequias se construyeron barreras de contención de 2-4 m de ancho, con un coste aproximado de 120 €/ml (IVA no incluido).

Resultados provisionales

El proyecto de restauración todavía está en ejecución y todavía no se ha podido sacar resultados definitivos. Sin embargo, 20 meses después del incendio, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Debido a la falta de lluvias, no ha habido episodios erosivos importantes hasta la actualidad. Sin embargo, se ha detectado que en las zonas de concentración de flujo de la escorrentía superficial (torrentes, riegos y zonas cóncavas) la presencia de troncos y ramaje en contacto con el suelo ha retenido tierra y ha disminuido la velocidad de escorrentía.
- La regeneración natural de pino carrasco es variable (*Fotografía 11*). En las zonas más magras y con menor profundidad de suelo se encuentran unos 300 plantones/ha, mientras que en las zonas más llanas y partes bajas de vertiente se han observado densidades de hasta 40.000 plantones/ha y 20 cm de altura. En las partes altas de la Sierra de Miralles los corzos han despuntado gran cantidad del regenerado.
- Antes del incendio las laderas con presencia de quercinas presentaban rebrotes importantes que, con el episodio de sequía actual, se han quedado totalmente secas.
- Un alto porcentaje de pinos que se consideraron vivos, ya que presentaban más de 1/3 de la copa verde pero que quedaron aislados, se han secado y han acabado muriendo en un período de 4 a 6 meses.
- Después de 15 meses del incendio, el pino laricio ya no era apto para sierra. En cambio, el pino carrasco, en zonas que se habían quemado a media o baja intensidad, 18 meses después todavía se puede aprovechar para sierra.
- Después de 16 meses del incendio, los árboles quemados que se dejaron en pie, se empezaron a romper. Las zonas más expuestas a los vientos dominantes (ponentadas) y con una densidad de más de 1.500 pies/ha, donde hacía décadas que no se realizaban clareos, los pinos se han roto en masa.
- Los rendimientos de los aprovechamientos madereros han sido muy variables. En las zonas donde se ha sacado el árbol entero han salido entre 30-55 t/ha, mientras que las zonas que se ha realizado aprovechamiento de tronco, entre 15-43 t/ha con un 25% por destino de sierra y uno 75% de trituración de media.



Fotografía 11. Regeneración natural de pino carrasco en zona gestionada.

Estudios y proyectos

Paralelamente a los trabajos de restauración, se están realizando diferentes estudios para evaluar la eficiencia de los trabajos de corrección de la erosión, la evolución del regenerado natural, así como plantaciones para diversificar la regeneración:

- Evaluación de la eficiencia de los trabajos para prevenir la erosión: la Diputación de Barcelona desarrolla un estudio con UAS (Unmanned Aerial System, drones), del que se extraen modelos digitales de elevaciones y ortofotomapas de alta resolución en base a fotogrametría. Se han establecido 10 parcelas fijas sobre el terreno de 2 ha (80 m x 250 m) donde se repiten vuelos anualmente (con una precisión de 1,5 cm) para comparar las posibles pérdidas de suelo y el efecto sobre la erosión de los distintos métodos de actuación realizados. Dos parcelas están en zonas control en las que no se ha realizado ninguna actuación.
- Evolución del regenerado (Tesis Doctoral Mara Paneghel): estudio de la evolución de la regeneración natural post-incendio, la influencia de los trabajos forestales sobre el regenerado y los efectos de la sequía. Se han establecido 40 parcelas (10 m x 10 m), donde algunas se han dejado los árboles en pie (parcelas control) y otras se han realizado en las zonas según los distintos métodos de actuación. Se identifica la densidad de regenerado y se realizan inventarios florísticos para evaluar el desarrollo de la vegetación. Por otra parte, se han marcado plántulas concretas de pino carrasco germinadas durante el primer otoño después del incendio y otras que germinaron durante la siguiente primavera con el objetivo de observar si existen diferencias en el crecimiento y supervivencia de estas plántulas después del verano (temporada de escasez). En este estudio colabora la Universidad de Lleida y el Centre de Ciència i Tecnologia Forstal de Catalunya (CTFC).
- LIFE Adapt Aleppo: proyecto formado por la Universidad de Lleida, la Universidad Politécnica de Valencia, la Universidad de Castilla-La Mancha, Agresta y la Región de Murcia. El principal objetivo es el desarrollo de nuevas herramientas para la adaptación de los bosques ibéricos de pino carrasco al cambio climático, así como su aplicación demostrativa. En la zona del incendio se realizará una plantación de pino carrasco de diferentes regiones de procedencia

(adaptadas a las condiciones futuras de cambio climático, previstas por diferentes modelos).

- PROMACC Sierras de Miralles-Ancosa: en el marco del proyecto LIFE CLIMARK, coordinado por el Centro de la Propiedad Forestal (CPF) y promovido por la Associació de Propietaris Forestals Sierras de Miralles-Orpinell se prevén actuaciones de reforestación para aumentar la diversidad y la resiliencia, como las plantaciones de especies rebrotadoras y coníferas adaptadas a la zona. También participan entidades como Bosquerols, SCCL, The Arbre Team, SL y Forestal Catalana.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los Ayuntamientos de Bellprat, Santa María de Miralles y Sant Martí de Tous por colaborar en la búsqueda de los propietarios forestales afectados y por organizar conjuntamente las reuniones de coordinación. A la Associació de Propietaris Forestals Sierras de Miralles-Orpinell para desarrollar el proyecto de restauración. A todas las entidades que han participado y promovido los estudios y proyectos para la recuperación de la zona afectada por el incendio. A los propietarios forestales y a la gente del territorio por su implicación con la restauración de la zona.

Referencias

- Bombers GRAF. 2022. Fire Information Sheet STA. Coloma de Queralt. RET, 24/07/2021, 1.789 N.S.G. (210413749). 21pp.
- Bacardit, P. 2021. Projecte de restauració de la zona cremada en l'incendi forestal del 24 de juliol del 2021 a la Serra de Queralt i la Serra de Miralles. 36pp.
- Bacardit, P. 2020. Projecte de restauració de la zona cremada en l'incendi forestal del 24 de juliol del 2019 a la muntanya de Miramar. 26pp.
- Martin, A. 2019. Com actuar correctament en aquelles zones afectades per un incendi forestal? Silvicultura, 80, 45-46.
- Mauri, E., i Pons, P. 2019. Manual de bones pràctiques per a la gestió forestal postincendi: Com mitigar o evitar els impactes negatius de la tala de recuperació en els boscos mediterranis. 2a edició. Projecte Anifog, CGL2014-54094-R, Universitat de Girona. 169 pp.



JORNADA

2

La procesadora forestal, la herramienta imprescindible para la gestión forestal

Iolanda Domenjo. Ingeniera Forestal. Técnica del Departamento Forestal de Serradora Boix.

Gerard Alcoverro. Ingeniero Forestal. Técnico del grupo de aprovechamientos, mecanización y biomasa forestal del Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

Toni Cunill Montaña. Gerente de Forestal Cunill, SL.

Domenjó, I., Alcoverro, G., Cunill, T. 2023. La procesadora forestal, la herramienta imprescindible para la gestión forestal. A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 22-31.

Resumen

El escenario actual de cambio climático pide una respuesta del sector forestal. No sólo en la gestión de los bosques para adaptarlos a los cambios globales (alteraciones que afectan a la sanidad forestal, la captación del agua, la biodiversidad...) sino también dando respuesta a los objetivos comprendidos dentro del Pacto Verde Europeo, ofreciendo al mercado, productos mucho más respetuosos con el medio ambiente. En la bioeconomía circular, la madera y el corcho se convierten en la materia prima por excelencia.

Hacer frente a estos retos en un sector forestal con bajo nivel de profesionalización, carencia de mano de obra y poco tecnificado, tiene pocas probabilidades de tener éxito. Es por este motivo que la mecanización es un factor imprescindible para la gestión forestal activa. El principal reto que queremos exponer es cómo incrementar el nivel de mecanización adaptándolo a la gestión de nuestros bosques para aprovechar todas sus ventajas (aumento de los rendimientos, la seguridad, la profesionalización del sector, el valor del producto, la reducción de daños a la vegetación remanente, etc.) a la vez que buscamos cómo mitigar los impactos que esta máquina puede generar.

Introducción

Actualmente, el 64,2% de la superficie en Cataluña es forestal y el 41,5% es arbolado. El 40% de nuestros bosques dispone de una figura de planificación forestal y cerca de 300.000 hectáreas están certificadas con sello de sostenibilidad PEFC. Sin embargo, hoy en día sólo gestionamos aproximadamente el 30% del crecimiento anual, mientras que la tasa media de gestión en Europa se sitúa en torno al 60%. Según datos del Inventario Forestal Nacional, nuestros bosques presentan un incremento de 2.224.978 m³ anuales y, por otra parte, anualmente se están extrayendo alrededor de 800.000 m³ según datos de la Dirección General de Ecosistemas Forestales y Gestión del Medio (DGEFGM). Esto supone un incremento anual considerable del volumen de madera en pie. La capitalización de los bosques, junto con los efectos del cambio climático y el abandono de los terrenos agrarios, incrementan el riesgo de incendio al mismo tiempo que produce un impacto negativo en la producción de madera y en los servicios ecosistémicos.

En contrapartida a estos efectos del calentamiento global, se ha identificado la gestión forestal sostenible como un medio para reducir estos riesgos y potenciar los servicios ecosistémicos (Labelle & Lemmer, 2019), lo que beneficiaría a toda la sociedad.

Se debe buscar la vía para poder sufragar los costes de la gestión de los bosques y por este motivo el aprovechamiento de los productos debe convertirse en imprescindible si se quiere aumentar la gestión forestal. La principal herramienta para financiar la gestión forestal es el aprovechamiento de los recursos forestales con valor económico. Actualmente, el aprovechamiento comercial de los productos forestales representa el 1,6% del PIB catalán. El sector cuenta con casi 1.700 trabajadores afiliados a la Seguridad Social, representando el 1,7% de los empleados en Cataluña, datos muy pobres frente a la superficie forestal nombrada.

El consumo de tronco de la industria de la primera transformación

Las empresas de la primera transformación de la madera producen productos semielaborados (madera aserrada, palos y puntales). La mayoría de los aserraderos sierran madera de conífera, principalmente para palet y embalaje.

Cataluña es deficitaria en producción de tronco y madera aserrada, no por falta de recurso sino por la dificultad de acceso al mismo, tanto por barreras burocráticas como por la falta de profesionalización de las empresas forestales y de infraestructuras (camino) forestales.

En conjunto, consumen 590.000 toneladas anuales, aunque la capacidad de producción de estas empresas es mucho mayor.

Anualmente, la industria de la madera compra fuera de Cataluña el 29% del tronco que necesita y, según datos de Aduanas, en 2019 Cataluña importó 40.000 toneladas de madera aserrada no cepillada para embalaje, principalmente de Francia y países del Este.

Estas importaciones suponen una pérdida de 14,5 millones de euros en la cadena de suministro del tronco y 4,8 millones de euros en la industria. Por tanto, anualmente dejamos de invertir en la cadena forestal local más de 26 M de euros, que no repercutirán sobre la gestión forestal y puestos de trabajo en el ámbito rural.

Según Arescat se calcula que, si estas importaciones se sustituyeran por tronco local, supondrían un incremento de la superficie gestionada anual de entre 13.000 y 14.000 hectáreas, así como la creación de 460 puestos de trabajo entre el aprovisionamiento forestal (375 puestos de trabajo) y las empresas de la primera transformación y los servicios vinculados a éstas (85 puestos de trabajo).

Predicciones en la demanda de madera

En la actualidad, las ambiciosas políticas Europeas como el Pacto Verde Europeo que propone dejar de producir emisiones limpias de los gases de efecto invernadero en 2050, pone de nuevo en primera línea los productos forestales como son la madera y el corcho.

Con este objetivo, las principales estrategias fomentadas desde la Administración se han dirigido hacia el aumento de la demanda de biocombustibles y productos forestales para sustituir materiales como plásticos, aluminio, hormigón, etc. vinculados a la descarbonización. Sin embargo, estas estrategias no han contemplado uno de los principales problemas como son: el acceso a los recursos forestales (juntamente con la complejidad administrativa), la falta de operarios forestales y la poca mecanización especializada de las empresas forestales. De hecho, la Agenda Forestal 2020-2025, en su diagnóstico DAFO destaca como principal debilidad del sector la baja profesionalización y marginalidad de los trabajos agro-silvo-pastorales.

El Instituto Catalán de Energía indica que sólo en el mercado de la biomasa, el incremento del consumo de los productos forestales ha ido aumentando año tras año: la astilla es el biocombustible que va aumentando más notablemente su consumo, un 89% desde 2013. El consumo de pellet en los últimos años se mantiene bastante estable, con un crecimiento total del 54%.

En la actualidad, y teniendo en cuenta las nuevas instalaciones de energías renovables térmicas basadas en biomasa que están proyectadas, se prevé que la demanda pueda aumentar hasta un 40%.

Las dificultades del aprovechamiento de los recursos maderables

La ejecución de las actividades forestales presenta gran dispersión y diversidad de actuaciones. Esto dificulta la programación y ejecución de los propios trabajos y de las actuaciones preventivas. Por otra parte, las condiciones en

las que se realizan estos trabajos, la maquinaria utilizada, la meteorología, la orografía y la carencia generalizada de profesionalización del personal laboral hacen que este tipo de trabajo sea peligroso, con múltiples riesgos que pueden terminar en accidentes de trabajo.

Las empresas forestales son pequeñas, con dependencia de la gestión pública y de licitaciones que a menudo tienen poca continuidad. También presentan una elevada dependencia de la mano de obra cada vez más escasa y menos cualificada.

Por lo que respecta a la legislación preventiva, no existe una normativa específica de Prevención de Riesgos Laborales (PRL) para el sector forestal. En algunos casos se toma de base el RD 1627/97, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, aunque en general a las actividades forestales no les afecta, ya que en la mayoría de los trabajos forestales no llevan asociadas obras de infraestructuras.

Esta carencia de legislación, específica en materia de PRL forestal, hace que la empresa forestal, en muchas ocasiones, tenga una sensación de desconocimiento o falta de información respecto a la seguridad al no saber qué es lo que la Administración exige en cada caso.

Importancia de la mecanización

Como se ha comentado previamente, los bosques catalanes están acumulando biomasa año tras año por falta de gestión generalizada. Además de este hecho, se une el aumento de temperaturas y déficit hídrico debido al cambio climático, un sector del aprovechamiento maderero poco tecnificado y profesionalizado con muchos riesgos laborales asociados y finalmente una previsión de demanda de madera al alza. El sector está de acuerdo en que la gestión forestal sostenible es el camino que seguir, pero todavía se encuentran muchos aspectos que mejorar para potenciarla. Uno de ellos es la profesionalización y tecnificación de las empresas dedicadas al aprovechamiento maderero y la mecanización es una parte fundamental para conseguirlo.

Las operaciones realizadas en el aprovechamiento maderero varían paulatinamente a lo largo del planeta. Adaptándose a la complejidad tanto técnica como económica, social y ambiental de cada región. Como ejemplos de esta alta variabilidad de condiciones se puede mencionar: las condiciones geográficas, regímenes de gestión, características del arbolado, clima, estructura de la propiedad, demanda de la industria, capacidad y disponibilidad para realizar los trabajos y demandas de la sociedad (Lindroos et al., 2017).

Como respuesta del amplio abanico de factores para tener en cuenta a la hora de gestionar el monte, existen varios sistemas de aprovechamiento para llevarlo a cabo. Estos se pueden diferenciar en diferentes grados de mecanización:

- _ poco mecanizadas: sierra mecánica y tractor con cabrestante,
- _ media mecanización: sierra mecánica con o sin procesadora (abatimiento y transportador o arrastre (autocargador y skidder a partir de ahora) para el desembosque),
- _ mecanización total: procesadora y autocargador (Labelle & Lemmer, 2019).

Dentro de cada uno de estos niveles también se encuentra una gran oferta de sistemas y maquinaria que pueden adaptarse a cada una de las necesidades.

Estado de la mecanización forestal especializada en Cataluña

Es necesario saber el punto que se parte para poder analizar y concretar los aspectos de mejora. Los resultados de un estudio realizado a partir del análisis de las subvenciones (2007-2016) otorgadas por la Generalitat y encuestas a las empresas de aprovechamientos forestales (2016-2017), concluyen que existe una gran desigualdad entre el número de máquinas forestales específicas y las adaptadas para el trabajo forestal, básicamente tractores agrícolas. Lo que ratifica el poco uso de sistemas mecanizados en los montes catalanes en contrapartida al uso de sistemas más manuales, como el abatimiento con sierra mecánica y la extracción con tractor agrícola con cabrestante.

Por lo que respecta a la maquinaria forestal específica, comparando el parque de maquinaria resultante de los expedientes con las encuestas, se observa que la gran mayoría de éstas han sido adquiridas como maquinaria de segunda mano. Esto nos lleva a pensar que la gran mayoría de maquinaria forestal específica tiene cierto desgaste y esto puede llevar, en forma de averías, a incrementar los tiempos no productivos y disminuir los beneficios de las empresas, tanto por una bajada de la facturación como por un aumento de los costes.

Ventajas en la utilización de la mecanización forestal especializada

En este apartado se plantean las ventajas de incrementar el nivel de mecanización hacia sistemas más manuales, éstas son las siguientes:

- _ **Seguridad y salud:** realizar los trabajos mecánicamente lleva a un aumento de la seguridad y la ergonomía de los trabajos forestales en comparación con trabajos más manuales y con maquinaria forestal no especializada (Albizu-Urionabarrenetxea et al., 2013); Este aumento de la seguridad se debe a trabajar con maquinaria que tiene ciertas características que la hacen más apta para el trabajo forestal: sistemas regulados de protección (ROPS, FOPS y OPS), centro de gravedad más bajo, compensación de pesos más adecuada, articulación por aumentar la maniobrabilidad y otros sistemas para ganar estabilidad (cabinas autoniveladoras, bloqueos, sistema boogie, etc.) y hacer posible que la maquinaria pueda superar ciertos obstáculos que se encuentren en el bosque (cepas, afloramientos rocosos, cambios bruscos de pendiente, pendiente lateral...), incrementando así la seguridad laboral del personal.
- _ **Profesionalización del sector:** actualmente el sector forestal catalán tiene una falta de trabajadores cualificados importante. Mecanizar al sector llevaría a profesionalizar y hacer más atractivo unas labores que siempre han sido duras y potencialmente peligrosas (Błuszkowska & Nurek, 2014). Y esa mecanización va ligada a la formación de los maquinistas. Ciertos estudios (Lopes et al., 2008; Ranta, 2009) argumentan los beneficios de la

utilización de simuladores en esta formación, que van desde la parte cualitativa de la ejecución de los trabajos hasta la económica en el aumento de productividad y reducción de costes por las empresas que los contraten.

- **Valorización del producto:** trocear y clasificar el tronco en la finca comporta una valorización del producto en industria. Estas labores si se realizan manualmente normalmente tienen un coste más elevado que el propio incremento del valor del producto. El hecho de mecanizarlo lleva a realizar estas labores de forma eficaz y eficiente y, por tanto, tienen un impacto real y positivo económicamente en el producto. Este efecto todavía se incrementa más en árboles de menor diámetro, que son de gran relevancia en Cataluña teniendo en cuenta la estructura de los bosques. Además, el hecho de tener en el cargador trozos a medida hace rentabilizar el transporte, ya que facilita la colocación de éstas en la caja del camión en comparación con tronco entero del árbol. Por último, el uso correcto del software de la procesadora consigue una valorización superior del producto resultante (Dems et al., 2015).
- **Incremento de la productividad:** realizar aprovechamientos madereros mecanizados aporta un aumento de la productividad y un flujo constante de madera (Krč et al., 2015; Labelle & Lemmer, 2019) que favorece tanto el incremento de la superficie gestionada como el abastecimiento de materia prima para satisfacer la demanda. Uno de los factores que afecta a este incremento de productividad es el aumento del tiempo productivo del trabajador, ya que no se ve tan afectado por las condiciones externas (luz, clima, orografía, etc.) y físicas.
- **Reducción de contaminantes atmosféricos:** los trabajos mecanizados, generalmente, son más rentables (tiempo-productividad) en comparación con los sistemas más manuales, esto conlleva a una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y partículas por m³ de madera aprovechada (Labelle & Lemmer, 2019).
- **Reducción o eliminación de los daños en la vegetación remanente:** siempre y cuando los trabajos se realicen de forma correcta, volviendo a la importancia de la formación, el hecho de mecanizar conlleva a una reducción de los daños en la vegetación remanente

(Spinelli et al., 2014) y una mejora en la calidad tanto en la corta como en el procesado del pie, debido al mejor manejo del árbol por parte de la maquinaria.

Inconvenientes de la mecanización forestal

Uno de los principales retos que debemos asumir es la mitigación de los posibles impactos negativos que se puedan generar a la hora de realizar el aprovechamiento maderero.

- **Impacto visual:** llevar a cabo la gestión forestal con procesadora y autocargador, siempre y cuando el terreno no sea suficientemente plano ($\geq 5\%$), implica la realización de un conjunto de carriles dirigidos en línea de máxima pendiente, de ancho suficiente (4 m aprox.) para que pase la máquina. Estos carriles pueden crear cierto impacto visual temporal, en función del tipo de suelo, y sobre todo en terrenos de pendiente pronunciada.
- **Impacto en el suelo:** Las operaciones de aprovechamiento pueden tener un significativo impacto en las propiedades físicas del suelo, reduciendo su porosidad y funciones orgánicas. Las variaciones del suelo, en particular la densidad y porosidad total, causadas por perturbaciones externas como la compactación, pueden producir cambios en los ciclos bioquímicos. Estos cambios tienen consecuencias directas en el ecosistema del suelo (Cambi et al., 2017).
- **Impacto en la gestión forestal:** Los trabajos mecanizados, a diferencia de los manuales, tienen más limitaciones a la hora de realizar una gestión más precisa. Por ejemplo, para los árboles bifurcados, torcidos y de gran tamaño puede tener dificultades o incluso imposibilidades de procesar. También, el hecho de tener que realizar carriles por la circulación de la maquinaria hace que ya se extraiga un gran porcentaje del volumen planificado por el objetivo silvícola. Si no se contabiliza correctamente el volumen extraído por la apertura de carriles puede comportar una sobreexplotación de la finca.

Debe tenerse en cuenta que los impactos nombrados anteriormente se pueden generalizar en

todos los sistemas de aprovechamiento, incluso en los más manuales. Si bien es cierto, a medida que se aumenta el nivel de mecanización estos magnifican más, por tanto, también se debe incrementar de igual forma el cuidado al minimizarlos.

Propuestas para mejorar e incrementar el uso de la maquinaria

Además de los principales impactos, uno de los principales inconvenientes que se encuentra en Cataluña a la hora de la implantación de los trabajos forestales con mecanización especializada, es el desconocimiento general a nivel técnico que se tiene de este tipo de metodología de trabajo. Este desconocimiento se refleja en el diseño de la planificación de los trabajos, en los que a menudo no se tiene en cuenta la posible ejecución de los trabajos mediante procesadora y autocargador.

El mundo académico forestal ha vivido prácticamente de espaldas a los aprovechamientos mecanizados, dejando a menudo su gestión en manos de un tejido empresarial menos tecnificado de lo deseable (Tolosana, E., 2021).

Este desconocimiento ha comportado que, en Cataluña, los trabajos con procesadora se hayan reducido a fincas afectadas por incendios, transformación a pastos o roturadas. En otros países, en cambio, la mecanización de los aprovechamientos se ha generalizado y se utiliza en aclareo y corta final.

Por este motivo, desde el sector empresarial se ha promovido en los últimos años el uso de las procesadoras y se han empezado a utilizar en diferentes tipos de cortas y no solamente a matarrasa. El objetivo es demostrar la compatibilidad de estas máquinas con claras selectivas, aclareos sucesivos uniformes o de mejora, e incluso en clareos.

Se debe experimentar de primera mano para aprender y ver cómo adaptar la maquinaria a las condiciones técnicas, económicas, ambientales y sociales de Cataluña. Estas adaptaciones pueden ser desde el replanteamiento del sistema de aprovechamiento utilizado, hasta las características más técnicas de la maquinaria (procesadora

de cadenas o rueda, tipos de cabezal, necesidades de tamaño y potencia). La voluntad es conocer los principales retos que debemos afrontar para introducir un mayor grado de mecanización. Por este motivo, con el apoyo de la administración forestal competente, debería afrontarse los siguientes aspectos de mejora:

- Más del 35% de la superficie forestal arbolada corresponde a especies como el pino carrasco o la encina, siendo estas propensas a tener curvaturas en el tronco, un grosor de rama grande o bien, una cantidad elevada de éstas. Por estos motivos sería altamente beneficioso para el uso de la procesadora, en esta superficie, disponer de cabezales procesadores capaces de trabajar con estas características de arbolado.
- Existe una elevada superficie de arbolado de pequeño tamaño, proveniente del regenerado de los incendios de los años 80-90, la mayoría de los cuales están pendientes de una actuación urgente. El uso de cabezales multicortadores con baja demanda hidráulica serían una buena solución para gestionar estas masas.
- Potenciar las técnicas y maquinaria adaptada al trabajo con pendientes pronunciadas como puede ser el uso del cable sincronizado. El cable permite trabajar de forma segura en estas condiciones y reduce además las alteraciones edáficas, ya que esta técnica disminuye la tracción transmitida al suelo por las ruedas o cadenas de la maquinaria (Tolosana, E., 2021).
- Para minimizar daños en masas con subvuelo o bien con regenerado, debería adaptarse la mecanización y el sistema de aprovechamiento a las características de la gestión y de la masa a tratar. Aunque lo ideal sería la formación previa del operario.
- Mejorar el manejo masivo de datos que nos ofrece este tipo de tecnología para incrementar el control de la ejecución de los trabajos aplicando TIC, GPS, sensores y desarrollo de software específico. Se deberían proponer estudios de implementación, manejo y tratamiento de estos datos.
- Divulgar, tanto a los profesionales forestales como a la sociedad urbana, la necesidad y las ventajas de la mecanización, algo que hoy en día nadie discute en el sector de la agricultura (Tolosana, E., 2021). Proponer jornadas,

como las Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera, para dar a conocer las necesidades de mecanizar, sus ventajas y adaptaciones necesarias para hacerlo realidad.

- Para poder realizar un buen uso de la mecanización es imprescindible una buena formación de la gestión para todos los niveles involucrados, desde el técnico que planifica y dirige el aprovechamiento hasta la empresa rematante.

La finca presenta una buena accesibilidad, por tanto, se considera viable la extracción de biomasa y triturado *in situ*, ya que no existe ningún impedimento en los accesos que lo dificulten.

Para reducir los riesgos laborales y aumentar la eficiencia de los trabajos se optó por el uso de un sistema totalmente mecanizado formado por procesadora (6x6 John Deere 1170E) y autocargador (John Deere 1110E). En este caso, destacamos los principales motivos:

- La orografía permite que se pueda mecanizar prácticamente la totalidad de la actuación.

La experiencia en el Soler d'en Hug

La finca del Soler d'en Hug, con una superficie de 144,84 ha, se encuentra entre las comarcas del Lluçanès y Berguedà en los municipios de Prats de Lluçanès y Santa Maria de Merlès y está ordenada con el PTGMF núm. 1.560. La finca presenta formaciones de bosques mixtos de pino laricio y pino silvestre, y bosques mixtos de roble pubescente y encinas. El objetivo preferente es productivo.

La unidad donde se está actuando es una masa de pino laricio con pino silvestre que se cortó en 2002, con un fuerte componente de mejora, y dejando una distribución irregular. La regeneración de pino es escasa, pero en cambio, la presencia de roble y encina es notable.

En muchas zonas, la formación arbustiva (majuelo, coscoja, zarza, romero, aulaga, labiérnago de hoja ancha, hiedra y rubia silvestre) se presenta muy espesa y con continuidad vertical generando una estructura más vulnerable al fuego de copas. La presencia de majuelo es muy destacada y en muchos puntos complica el acceso al interior de la masa forestal (*Fotografía 1*).

La pendiente es muy suave y el relieve no es nada abrupto. De forma secundaria, el bosque es apacentado por un rebaño de ovejas.

El modelo de gestión silvícola propone el mantenimiento de la masa mixta. La actuación actual programa una corta selectiva, debido al estado de debilidad que presenta la masa a consecuencia del estrés hídrico y la procesionaria, con el objetivo de liberar competencia y mejorar el estado de salud de los árboles restantes.



Fotografía 1. Estado de la masa arbustiva en la finca Soler d'en Hug.

- La finca presenta muy buena accesibilidad. Por tanto, se contempla como viable la extracción de biomasa y triturado *in situ*.
- La actuación permite el aprovechamiento de diversos productos madereros (biomasa, puntales, madera de sierra) que la maquinaria forestal puede clasificar sin sobreesfuerzos.
- La elevada densidad del estado arbustivo, especialmente de espinos, complican el acceso al interior de la masa, siendo los trabajos



Fotografía 2. Regenerado de la masa post-actuación.

manuales desaconsejables desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales.

- La elevada presencia de procesionaria aumenta el riesgo biológico de erupciones cutáneas derivado de la exposición a los agentes urticantes de ésta.
- La presencia de regenerado de roble y encina, además de quedar liberada de competencia al reducir el estrato arbustivo y arbóreo, queda intacto al realizar los trabajos mediante procesadora. El cabezal procesador controla la caída de los pinos evitando que éstos perjudiquen al regenerado (*Fotografía 2*).

Conclusiones

La carencia de materia prima es una reclamación histórica de la industria de la primera transformación en este país. Esta reclamación aún toma mayor fuerza ante el aumento de demanda que se prevé para los próximos años, fruto de las políticas de descarbonización europeas. A esta problemática se le suma la necesidad de gestión de nuestros bosques para afrontar el nuevo escenario de cambio climático y la demanda social. Por tanto, debemos ser conscientes de la realidad que nos rodea y darnos cuenta de que sólo se puede afrontar este nuevo escenario aumentando el nivel tecnológico de la maquinaria y herramientas para llevar a cabo la gestión forestal de forma segura, eficiente y sostenible.

Incrementar la mecanización en los bosques supone un amplio abanico de retos a abordar que carecen de una única solución. Estos retos van desde mejorar los sistemas con un nivel de mecanización más bajo, como la adaptación homologada de maquinaria agrícola o de obra pública, hasta el uso de maquinaria forestal específica, como es el caso de la corta selectiva con procesadora que se presenta. Todo esto debe ir acompañado de una imprescindible formación de toda la cadena de producción: desde el técnico que planifica y dirige el aprovechamiento hasta la empresa rematante.

Hay mucho camino a recorrer y, éste, necesita la complicidad y buen entendimiento de todos los eslabones del sector forestal.

Referencias

- Tolosana, E., 2020. La mecanización, olvidada por la ciencia forestal española. Colegio Oficial de Ingenieros de Montes.
- Albizu-Uriónabarrenetxea, P. M., Tolosana-Esteban, E., & Roman-Jordan, E. (2013). Safety and health in forest harvesting operations. Diagnosis and preventive actions. A review. *Forest Systems*, 22(3), 392–400. <https://doi.org/10.5424/fs/2013223-02714>
- Błuszkowska, U., & Nurek, T. (2014). Effect of mechanization level on manpower needs in forestry. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 56(4), 194–201. <https://doi.org/10.2478/ffp-2014-0022>
- Cambi, M., Paffetti, D., Vettori, C., Picchio, R., Venanzi, R., & Marchi, E. (2017). Assessment of the impact of forest harvesting operations on the physical parameters and microbiological components on a Mediterranean sandy soil in an Italian stone pine stand. *European Journal of Forest Research*, 136(2), 205–215. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1020-5>
- Dems, A., Rousseau, L. M., & Frayret, J. M. (2015). Effects of different cut-to-length harvesting structures on the economic value of a wood procurement planning problem. *Annals of Operations Research*, 232(1), 65–86. <https://doi.org/10.1007/s10479-013-1336-1>
- Krč, J., Vranešič, U., & Košir, B. (2015). Comparison of mechanized and motor-manual cutting operation in mixed stands of southern Slovenia. *Sumarski List*, 139(7–8), 351–360.
- Labelle, E. R., & Lemmer, K. J. (2019). Selected environmental impacts of forest harvesting operations with varying degree of mechanization. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(2), 239–257. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.537>
- Lindroos, O., La Hera, P., & Häggström, C. (2017). Drivers of advances in mechanized timber harvesting - a selective review of technological innovation. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38(2), 243–258.
- Lopes, E. D. S., Cruziniani, E., De Araujo, A. J., & Da Silva, P. C. (2008). Evaluation of harvester operator training using virtual reality simulators. *Revista Arvore*, 32(2), 291–298. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622008000200012>
- Ranta, P. (2009). *Added values of forestry machine simulator based training*. Proceedings of the International Conference on Multimedia and ICT Education., 0, 1–6. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.6885&rep=rep1&type=pdf>
- Spinelli, R., Lombardini, C., & Magagnotti, N. (2014). The effect of mechanization level and harvesting system on the thinning cost of Mediterranean softwood plantations. In *Silva Fennica (Vol. 48, Issue 1)*. <https://doi.org/10.14214/sf.1003>



JORNADA

3

Restauración ecológica del paisaje post-incendio en la Fatarella: regeneración y gestión forestal de los pinares de pino carrasco y valorización de los productos en una biorefinería

Teresa Cervera Zaragoza. Doctora Ingeniera de Montes. Centro de la Propiedad Forestal.

Noemí Palero Moreno. Ingeniera de Montes. Centro de la Propiedad Forestal.

Lluís Coll Mir. Doctor Ecología Forestal. Profesor e investigador en la Universidad de Lleida.

Rut Domènech Jardí. Doctora Biología. Técnica territorial. Consorci de Polítiques ambientals de les Terres de l'Ebre.

Eusebi Casanova Ventura. Ingeniero Forestal. Servicios Territoriales de las Tierras del Ebro. Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural.

Neus Puy Marimon. Doctora Ciencias Ambientales. Responsable de los programas de Bioeconomía y Gobernanza. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

Cervera, T., Palero, N., Coll, LL., Domènech, R., Casanova, E., Puy, N. 2023. Restauración ecológica del paisaje post-incendio en la Fatarella: regeneración y gestión forestal de los pinares de pino carrasco y valorización de los productos en una biorefinería. A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 32-43.

Resumen

La restauración ecológica de los paisajes tiene como objetivo recuperar sus principales funciones y mejorar el bienestar humano de las zonas degradadas al tiempo que permite abordar los impactos del cambio climático. La restauración de los paisajes post-incendio pasa por obtener una buena regeneración, un número adecuado de árboles con un buen desarrollo, y para fomentar una gestión forestal multifuncional para mejorar las funciones productivas y ambientales de los bosques a largo plazo. Esta gestión, muy costosa en los primeros estadios, podría garantizarse con la puesta en valor de los productos maderables y de los servicios ecosistémicos generados. En el municipio de La Fatarella, se han testado estas medidas técnicas y económicas en los pinares de pino carrasco, regenerados después del gran incendio forestal del 1994, destinando los productos a una biorefinería piloto en Solsona.

Los incendios forestales en la Sierra de la Fatarella

La Sierra de la Fatarella se ha visto afectada por diversos incendios en los últimos 50 años. Los tipos de incendios han ido evolucionando, debido básicamente al cambio socioeconómico drástico que ha sufrido la zona, con un fuerte despoblamiento, abandono de las actividades económicas ligadas al territorio (agricultura, pasto y aprovechamiento forestal) y reforestación de las zonas antiguamente cultivadas, y también a una sequía, últimamente más pronunciada por los efectos del cambio climático.

De los incendios ocurridos en la zona en los últimos 50 años destacan: el incendio de Nonasp en 1994 (5.175 ha) y el de Ribarroja en 2005 (787 ha). También cabe mencionar los incendios en Faió, justo al otro lado de la frontera con Aragón que marca el río Matarraña, donde han habido incendios de 1.000 ha (julio de 2009) y 2.300 ha (junio de 2022). Asimismo, en junio de 2022 se produjo un incendio de 450 ha, el de Corbera, que ardió guiado por la marinada y su potencial de crecimiento era hacia la Serra de la Fatarella.

A nivel de régimen de incendio, los incendios de Nonasp 1994, Ribarroja 2005 y Faió 2009 estaban dominados por el viento de mistral o poniente, el principal tipo de incendio con potencial destructivo en la zona. Sin embargo, los incendios topográficos empujados por

marinada siguiendo el Valle del Ebro son también significativos, sobre todo en los últimos años, incendios que en la actualidad tienen mayor potencial debido al abandono agrícola extensivo de la zona. De hecho, Poble Massaluca 2021, Faió 2022 y Corbera 2022 son incendios de esta tipología (*Fotografía 1*). No hay que olvidar el incendio de Torre de l'Espanyol, tan cercano a la zona que quemó 5.046 ha en junio del 2019.

Sin embargo, de los incendios de la zona hay que buscar la oportunidad que está surgiendo como consecuencia de los regenerados de grandes incendios en contexto de cambio climático. Así, cabe destacar el incendio de la Poble de Massaluca de 2021, que pudo ser controlado en medio de la ola de sur de agosto gracias al mosaico del regenerado del fuego de 1994. En este regenerado, las zonas ubicadas en las solanas no han regenerado bien y solamente hay un buen regenerado en las umbrías (*Fotografía 2*). Esto crea un mosaico que acota la propagación de los incendios y crea oportunidades para la extinción. Este mismo efecto se ve también en los regenerados de los incendios de 2005.

La creciente aridización de la zona hace que las nuevas estructuras que aparecen después de los incendios creen una nueva estrategia de adaptación (umbría-solana) más adecuada al clima actual de la zona. Mediante una adecuada gestión forestal puede utilizarse esta estrategia de adaptación como aliada para mantener estructuras forestales maduras y que fijan carbono a largo plazo.



Fotografía 1. Incendio Poble de Massaluca (2021) (izquierda). Incendio Corbera d'Ebre (2022) (derecha).
Autor: Bomberos de la Generalitat de Catalunya.



Fotografía 2. Diferenciación de la vegetación según orientación (solana-umbría). Paraje Los Mollons, La Fatarella. Fuente ICGC.

La regeneración de los pinares de pino carrasco post-incendio

Por lo general, los pinares de pino carrasco tienen una buena regeneración de forma natural después de un incendio y recuperan rápidamente su cobertura vegetal. La regeneración post-incendio de esta especie depende completamente del banco de semillas. Al tratarse de una especie serotonina, las altas temperaturas ocurridas durante el incendio provocan la apertura de las piñas que liberan una cantidad relevante de semillas en el suelo. Esta apertura de las piñas se produce paulatinamente durante los 2 o 3 días posteriores al incendio. Posteriormente las condiciones ambientales que se dan en la zona quemada, desprovista de vegetación y con buenos niveles de insolación, favorecen la germinación masiva de las semillas (principalmente con las lluvias del otoño siguiente) y el posterior desarrollo de los brinzales. En este sentido es habitual encontrar pocos años después del incendio un diseminado con densidades muy elevadas, de hasta 50.000 pies por hectárea.

Sin embargo, la regeneración de los pinares de pino carrasco después de un incendio no siempre es exitosa y está condicionada por un conjunto de factores relacionados con la propia perturbación (intensidad, severidad), las características de la masa forestal antes del incendio (edad, estructura), la fisiografía del terreno (orientación, pendiente), el tipo de suelo o las condiciones climáticas en los meses después

del evento. Por ejemplo, zonas afectadas por incendios recurrentes pueden presentar problemas de regeneración importantes si las masas arden en intervalos inferiores a los que requieren los individuos para alcanzar la madurez reproductiva (estimada en unos 15 años, para alcanzar una cantidad suficiente de semilla para asegurar una regeneración adecuada).

Recientemente, se ha llevado a cabo un estudio en los bosques de pino carrasco afectados por el incendio de finales de junio de 2019 de Ribera d'Ebre para evaluar la cantidad y distribución de la regeneración natural de la especie y los factores condicionantes (*Fotografía 3*). Los



Fotografía 3. Regeneración natural de pino carrasco en la zona afectada por el incendio de Ribera d'Ebre de 2019.

resultados del estudio han mostrado niveles de regeneración elevados, con densidades medias de unos 3.500 brinzales por hectárea. Sin embargo, la abundancia del regenerado variaba bastante dentro del perímetro del incendio. Así, era significativamente inferior en las solanas y en las zonas de más pendiente (Figura 1) y aumentaba en las zonas que presentaban, antes del incendio, niveles de cobertura arbórea elevados. En cambio, la severidad del incendio no afectó a la abundancia del regenerado, pero sí condicionó el nivel de recubrimiento del suelo por la vegetación, más elevado en las zonas quemadas con menor severidad.

En las zonas donde la vegetación no se establezca espontáneamente en cantidad suficiente para asegurar la protección del suelo o la provisión de los bienes y servicios deseados, pueden plantearse actuaciones de restauración ecológica. El objetivo de estas actuaciones es promover la recuperación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas afectados, ya sea potenciando y reforzando dinámicas de recuperación existentes o implementando medidas para detener y revertir procesos de degradación. Pueden considerarse dos fases en la actividad de restauración: una fase urgente y de corto plazo (llamada de rehabilitación) para limitar y detener pérdidas irreversibles de suelo por erosión, y una segunda fase que incluya una perspectiva a medio y largo plazo con el establecimiento de comunidades vegetales adaptadas al nuevo contexto climático y al régimen de incendios futuros.

La afectación del incendio de 1994 en el municipio de La Fatarella

El municipio de La Fatarella (Terra Alta), con un total de 5.430,36 hectáreas, presenta un total de 3.683,79 ha forestales (el 67,8% del territorio) (MCSC3). La propiedad forestal privada representa el 82% del total y está muy fragmentada, con una media de 3,9 ha (Fletas et al, 2012). En 2015, la Associació de Propietaris Forestals de la Fatarella promovió un Plan Técnico de Gestión y Mejora Forestal Conjunto (PTGMFC), a nivel de paisaje, por el conjunto del municipio. El municipio incluye 1.190,11 hectáreas en el EIN de Riba-Roja y 75,53 hectáreas en la EIN Serra de Pàndols-Cavalls.

Los días 15, 16 y 17 de septiembre de 1994, el incendio con origen en el vertedero de Nonasp, quemó unas 5.175 ha en los términos municipales (TM) de Nonasp, La Fatarella, La Pobla de Masssaluca, Ribarroja d'Ebre y Vilalba dels Arcs. La mitad de los bosques de La Fatarella resultaron afectados. Actualmente, después de veinte años del paso del incendio, el paisaje todavía no se ha recuperado, coexistiendo zonas donde el regenerado, principalmente de pino carrasco, presenta densidades muy bajas y otras que continúan muy densas, en función de la orientación y la calidad de estación (Figura 1). Con una pluviometría anual entre 350-400 mm, las zonas adultas son generalmente de baja calidad de estación y presentan densidades muy variadas entre 500 y 2.500 pies/ha.

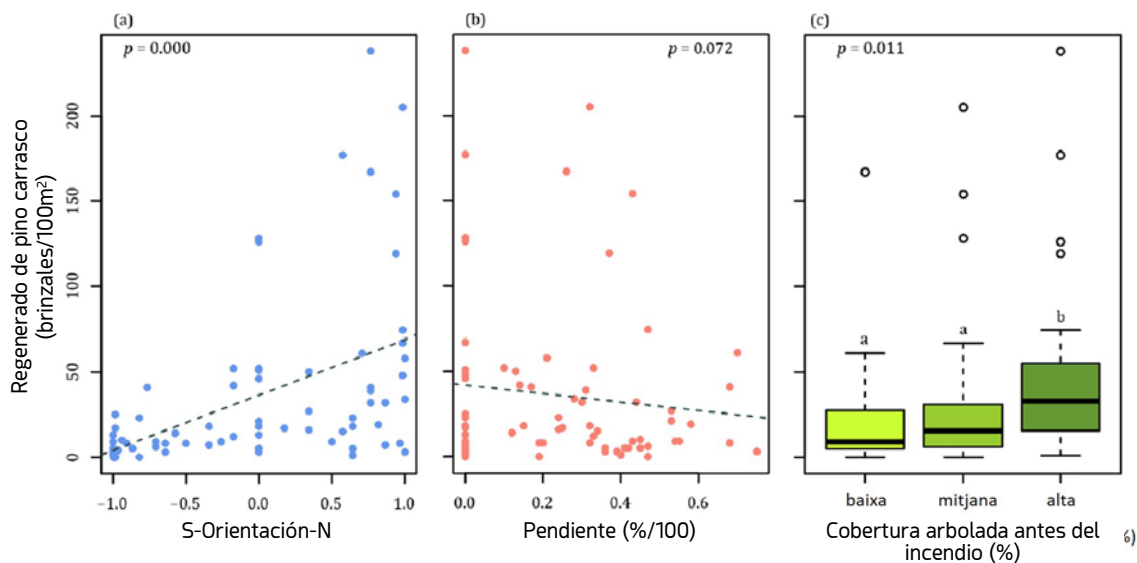


Figura 1. Abundancia de regenerado de pino carrasco (núm. Brinzales/100m²) dos años después del incendio forestal de Riberta d'Ebre de 2019 en función de: (a) orientación (los valores oscilan entre -1 (solanas) i 1 (umbrías)), (b) la pendiente (%/100) y (c) la cobertura arbolada antes del incendio (baja: <30%, media: 30-60%, alta: >60%). Datos del trabajo de fin de máster de Judith Solé Bertrán.

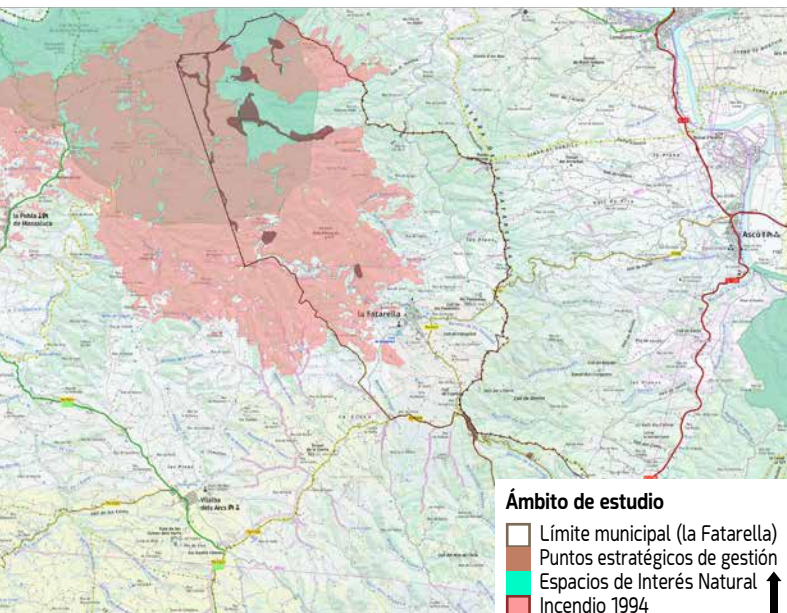


Figura 2. Límites del incendio de 1994.



Fotografía 4. Paisaje actual de la zona afectada del incendio del 1994.

Actuaciones post-incendio en los pinares de pino carrasco

Ante la situación descrita en los apartados anteriores, la gestión forestal se presenta como herramienta necesaria para reducir el riesgo de incendio y restaurar los principales servicios ecosistémicos que pueden ofrecer los bosques post-incendio de pino carrasco en un futuro. Desgraciadamente, las actuaciones sobre los bosques jóvenes en regeneración son muy costosas y condicionan su madurez. La mejora de las masas arbóreas y la recuperación de los servicios ecosistémicos se prevé a largo plazo, mientras que requieren de la implementación de

acciones para una mayor resistencia y resiliencia a las nuevas perturbaciones. Una valorización de los productos maderables que se obtienen en estas fases puede mejorar las perspectivas de futuro, el proyecto LIFE BIOREFORMED (LIFE19 ENV/ES/000544) proporciona algunas herramientas para avanzar en este sentido.

Este proyecto tiene como objetivo fomentar la gestión forestal sostenible de los bosques mediterráneos a través del tratamiento de la biomasa en una biorefinería piloto, utilizando torrefacción y pirólisis para obtener productos químicos renovables y biocombustibles y su consecuente valoración económica posterior. En el marco de este estudio se analiza el producto obtenido de la gestión de diferentes masas post-incendio de pino carrasco, de la puesta en regeneración de los alcornoques, de la mejora estructural de las masas mixtas de pino carrasco y encina post-ráfaga de viento o de los pinares de pino piñonero y castañares afectados por enfermedades, plagas y por problemas de decaimiento.

La gestión del regenerado post-incendio en masas de pino carrasco se han analizado en diferentes rodales del municipio de La Fatarella, privados y públicos. En la finca pública Valencians y St Francesc, de propiedad municipal, se han llevado a cabo actuaciones desde el año 2004, objeto de análisis de este estudio.

El monte de utilidad pública de Valencians y St. Francesc (CUP 28 de Tarragona)

El monte Valencians y St Francesc se sitúa en el extremo norte del término municipal de La Fatarella y es propiedad del Ayuntamiento desde tiempos inmemoriales, por donación de la orden religiosa de St. Juan de Jerusalén (Figura 3).

El monte fue incluido en el Catálogo de Montes Públicos Exceptuados de la Desamortización de 1862 y de acuerdo con la Ley de 24 de junio de 1908, se incluye en el Catálogo Oficial de Montes de Utilidad Pública, el 5 de octubre de 1928 con el número 28 de Tarragona. Entre mayo y junio de 1960, se realiza el deslinde del monte por parte del ingeniero Santiago Sánchez (Ingeniero Jefe del Distrito Forestal de Tarragona) y se publica el 12 de agosto de 1962. De acuerdo con este deslinde el monte tiene una cabida de 610, 80 ha.

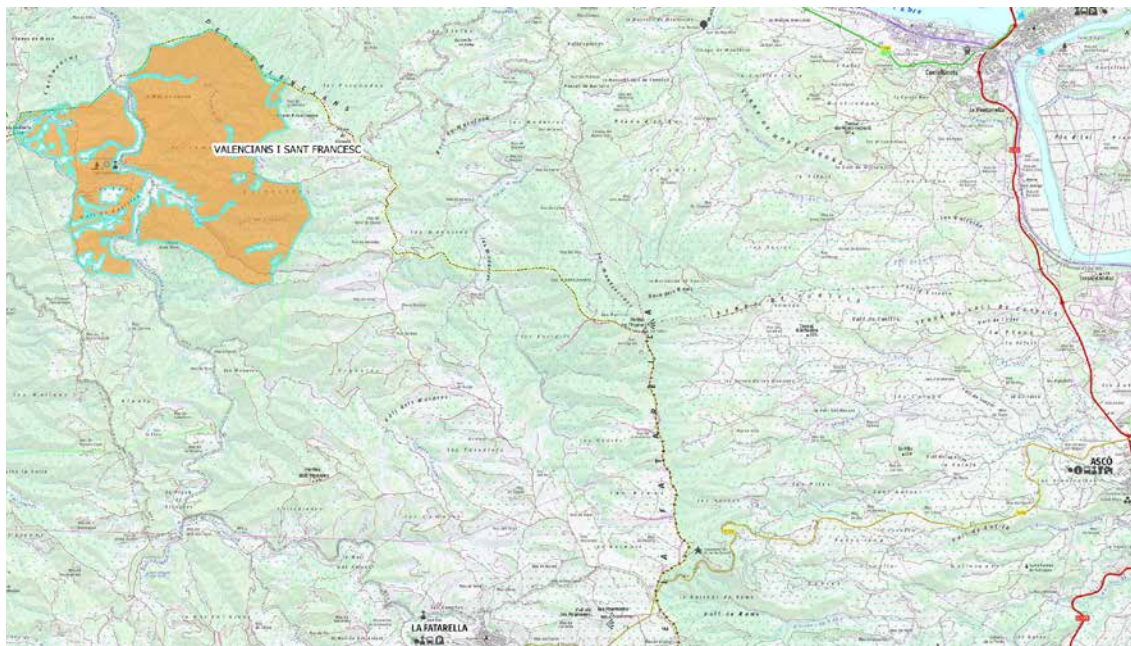


Figura 3. Localización del monte público Valencians y St. Francesc al norte de la Fatarella.

La composición y estructura de la vegetación del monte antes del gran incendio de 1994, que afectó a 357,18 ha en su parte norte, puede resumirse en dos grandes unidades que se diferencian en función de la exposición. Esta composición y estructura es característica de los montes de pino carrasco de la zona. Así, en las laderas con exposición sur, el monte se caracteriza por un pinar de pino carrasco con densidades muy bajas o un matorral con pies aislados. En las vertientes con exposición norte o zonas llanas, el monte presenta un bosque alto irregular de pino carrasco (Tabla 1).

Durante el año 2002 se redacta el primer Proyecto de Ordenación del Monte Valencians y St. Francesc. Esta Ordenación se caracteriza por ser poco ambiciosa con una planificación reducida y se aprueba a principios de 2003. Con la totalidad de la planificación ejecutada, en 2010 se redacta la Revisión del Proyecto de Ordenación y se aprueba en mayo de 2011. Esta Revisión responde a una planificación y programación independiente de la coyuntura económica y social del momento y por tanto mucho más ambiciosa. La vigencia de esa nueva ordenación

era de 10 años. En julio de 2020, antes de la finalización de la vigencia de la ordenación, se pidió la prórroga de esta por un período de 5 años, motivada por la no ejecución de la totalidad de la planificación (variable en función de la tipología de las actuaciones). Esta prórroga fue autorizada y, por tanto, la ordenación está vigente hasta mayo de 2026.

Las actuaciones realizadas en el monte se han llevado a cabo en el marco de las ayudas a la Gestión Forestal Sostenible (GFS), de acuerdo con los diferentes Proyectos de Ordenación, y se agrupan en tres tipologías:

- Actuaciones de prevención de incendios (áreas estratégicas, líneas auxiliares estratégicas, construcción de punto de reserva de agua, mejora de viales por prevención de incendios, etc.).
- Tratamientos silvícolas en bosque adulto de pino carrasco no afectado por el Gran Incendio Forestal (GIF) de 1994 (clareo de mejora, poda, desbroce del sotobosque, etc.).

Tabla 1. Datos dasométricos de las vertientes norte o zonas llanas antes del incendio.

Densidad (pies /ha)	AB (m ² /ha)	Existencias (m ³ /ha)	Edad (años)	Hm (m)	Dm (cm)
450-700	10-15	42-62	40-130	8-16	15

- Tratamientos silvícolas en regenerado de pino carrasco del GIF de 1994: años 2004 (GFS2003), 2006 (GFS2005), 2017 (GFS2016) y 2019 (GFS2018).

Actuaciones post-incendio 2004-2019

Aunque las densidades del regenerado sobre las que se actuó eran muy elevadas (entre 50.000 y 200.000 pies/ha). Durante las primeras actuaciones no había una clara dominancia entre los pies, por lo que conllevó a aplicar un clareo de plantación sistemático en un total de 13,25 ha. En la mayor parte de la actuación, el clareo se realizó de manera manual con motosierra (aunque se probó sin éxito con motodesbrozadora manual con disco) y dejando un espaciamiento entre pies de unos 1,5 m. De forma puntual se probó, en lugares aptos, realizar el clareo con desbrozadora de martillos con tractor, dejando un espaciamiento entre pies de unos 2 m. En las últimas actuaciones, el repoblado ya presentaba una dominancia entre pies y, por tanto, el clareo fue selectivo a favor de los dominantes y manteniendo el criterio de espaciamiento de 1,5-2 m. En todas las actuaciones se realizó un tratamiento de los restos (troceado) que se quedaron sobre el terreno y con el consiguiente impacto visual durante el primer año por el secado de estas.

Las actuaciones en los regenerados de pino carrasco pudieron financiarse con las ayudas de GFS mientras no había diferenciación entre pies, el clareo fue sistemático. La plantación se podía asimilar a un matorral como el clareo a un desbroce. Desde el momento en que el regenerado existe diferenciación de pies y las alturas se acercan a los 2 m, la cantidad de restos a tratar es mucho más elevada. Esto supone un aumento de los costes y la dificultad de implementación de las actuaciones.

Aunque no se ha realizado ningún estudio al respecto sobre el terreno, se puede apreciar que el desarrollo de la plantación en las zonas actuadas (independientemente si el clareo se ha hecho con árboles ya diferenciados o no) es superior al de las zonas no tratadas, especialmente en el crecimiento diametral. La eliminación de competencia favorece el crecimiento y la vigorosidad de la plantación restante, pero la apertura de espacio no favorece de igual forma al crecimiento apical.

Actuaciones post-incendio 2021-2022 (proyecto LIFE BIOEFFORMED)

En el marco del proyecto LIFE BIOEFFORMED, la gestión del regenerado post-incendio en pinares de pino carrasco se ha analizado sobre un total de 9,1 ha. Uno de los rodales seleccionados, de la finca pública Valencians y St Francesc, se encuentra ubicado en el paraje de Mollons, con una superficie total de 7,3 ha (*Figura 4*).

Pasados 27 años desde el gran incendio forestal, la masa está formada por pino carrasco de diámetro no inventariable con acompañamiento de encina y madroño. A veces encontramos algunos pies de pino carrasco adulto que sobrevivieron al incendio. Casi 30 años después tenemos una masa muy homogénea y densa, de estructura regularizada, de calidad de estación baja (PhLIT_C) (*Tabla 1*). El bosque se ha regenerado bastante bien. Se observa una densidad alta (más de 10.000 pies/ha) pero el crecimiento en altura y diámetro son muy bajos con un diámetro (Dn) medio de 2 cm y alturas reducidas (Hm = 1,5 m; Ho = 2m). El crecimiento de la masa se ha estancado con el paso de los años. Según los modelos ORGEST, por los pinares litorales de pino carrasco (Beltran et al., 2011), la masa debería tener un crecimiento medio de 2,5 m³/ha·año y, a partir de los 25 años, una altura dominante superior a los 4,5 metros.

El objetivo de la gestión era reducir la competencia entre pies y, en la medida de lo posible, mejorar la estructura de la masa hacia la vulnerabilidad al fuego de copas, siempre procurando mantener la capacidad de acogida de la biodiversidad. Para definir el itinerario de gestión se utilizó como modelo de referencia el Ph08, donde se establece la realización de un clareo con una densidad final de 1.200 pies/ha, una vez alcanzados los 4,5 m. El modelo también incluye un clareo cuando el arbolado presenta una altura de 7,5 metros con una densidad final de 750 pies/ha. En el rodal de estudio, el clareo se ha efectuado una vez el arbolado presentaba una altura de 2 metros, ya que las masas presentes no se ajustan suficientemente al modelo establecido.

Ante este hecho, se propusieron dos itinerarios distintos según el peso del corte para valorar en el futuro la mejor adaptación y desarrollo de la masa. El primer itinerario reduce la densidad final a 2.500-3.000 pies/ha, en un total de 3,7 ha (*Zona A de la Figura 4*). En el segundo, con

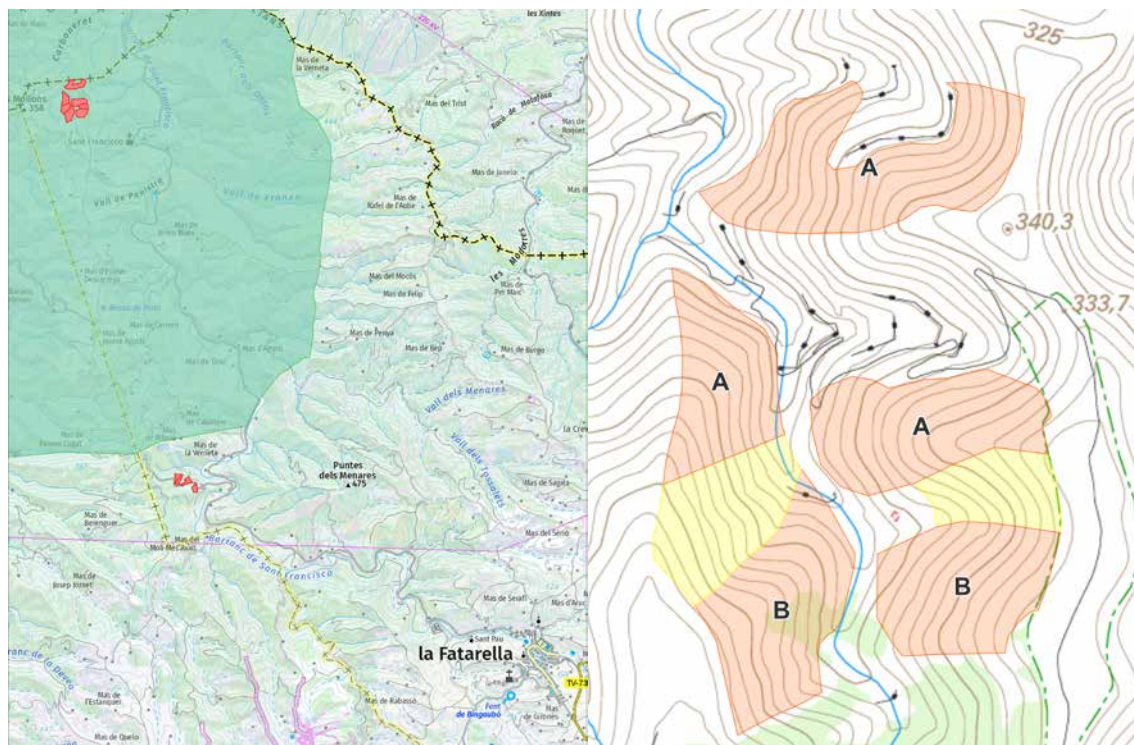


Figura 4. Ubicación de los rodales del proyecto LIFE BIORFFORMED y diseño del seguimiento en Mollons, zonas A y B, según itinerario de gestión y zonas control (en amarillo).

un mayor clareo, la densidad final oscila entre los 1.500-2.000 pies/ha, en 2,3 ha (*Zona B de la Figura 4*). Para valorar el efecto de ambos itinerarios en comparación con la no gestión se establece una zona control de 1,3 ha. La superficie gestionada siguiendo los dos itinerarios y la zona control se reparte entre dos vertientes orientadas al este y oeste. El objetivo es observar si la exposición tiene algún efecto sobre el desarrollo de la masa.

Las masas jóvenes presentan pocos elementos de biodiversidad a conservar y/o potenciar (valores del Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) de rodal de 14), lo que representa el 28% del total. En este sentido, no hay presencia de árboles grandes, la estructura vertical es muy simple y los árboles no tienen suficiente diámetro para presentar dendromicrohábitats, entre

otros indicadores. Es necesario avanzar hacia su madurez para ir mejorando su capacidad de acogida de biodiversidad.

En cuanto a la vulnerabilidad al fuego de copas, las ORGEST están diseñadas para masas arboladas adultas. Los rodales de regenerado se considera que, en caso de verse afectados por un incendio, tienen un comportamiento de fuego de superficie (por altura baja) pero con total mortalidad (Piqué et al., 2011). Con una actuación silvícola puede reducirse la cantidad de combustible, pero no crear discontinuidades verticales. Sin embargo, el comportamiento del fuego será similar, pero con menor intensidad por la reducción de combustible.

Los resultados de los clareos de brinjal, realizados en diciembre 2021 y enero 2022, con la

Tabla 2. Valores de la masa antes y después del tratamiento por cada zona delimitada.

Monte Valencians y St Francesc		Estado inicial					Estado post-actuación			
Zona	Tipología forestal	N (pies/ha)	H ₀ (m)	Dn (cm)	Vulnerabilidad	IBP (VA)	N (pies/ha)	Dn (cm)	Vulnerabilidad	IBP (VA)
A	PhLIT-C	>10.000	2	2	Alta	14	2.674	2,5	Alta	14
B							1.655	3,5		



Fotografía 5. Estado de la masa antes (izquierda) y después (derecha) de la actuación.

retención de los elementos de biodiversidad existentes, los podemos ver en la *Tabla 2*.

Gracias al clareo se ha reducido la competencia entre pies dejando los ejemplares mejor conformados y más desarrollados, se ha disminuido la acumulación de combustible y se han conservado los principales elementos que aportan biodiversidad a la masa. Los restos generados durante el clareo fueron troceados y extendidos al suelo (*Fotografía 5*).

El seguimiento de los próximos años permitirá valorar el efecto sobre el regenerado de los 2 itinerarios aplicados.

Valorización de los productos en una biorrefinería

En el marco del proyecto europeo LIFE BIOEFFORMED, el proceso de valorización de los productos maderables termina con el transporte de los restos vegetales a una biorrefinería piloto pre-comercial ubicada en Solsona. La dificultad de acceso al paraje de Els Mollons supuso que el desembosque del producto post-tratamiento se realizaron en los rodales seleccionados de titularidad privada, cercanos a la red viaria pública. En estas zonas se extrajeron un total de 7 toneladas de biomasa de pino carrasco, parte en forma de fajos con su copa y hojarasca, y parte en forma de troncos delgados (*Fotografía 6*).



Fotografía 6. Estado final de la masa (izquierda) y producto enviado a la biorrefinería de Solsona (troncos y fajos de pino carrasco) (derecha).

Por otra parte, los costes de las actuaciones están muy ligados a este proceso de valorización. Se espera que otros usos fruto del procesado de una biorrefinería, de mayor valor comercial, puedan financiar parte de estos gastos. En el conjunto de los rodales trabajados en la Fatarella, el coste de los clareos fue de 1.100 €/ha aproximadamente, el tratamiento de los restos cerca de los 700 €/ha y el desembosque de los fajos de pino carrasco en unos 360 €/ha. Los trabajos se llevaron a cabo por una empresa local con unos rendimientos en torno a 14 jornales/ha.

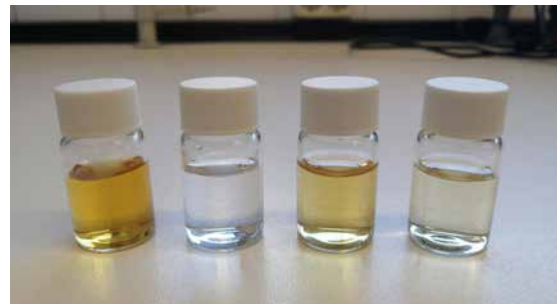
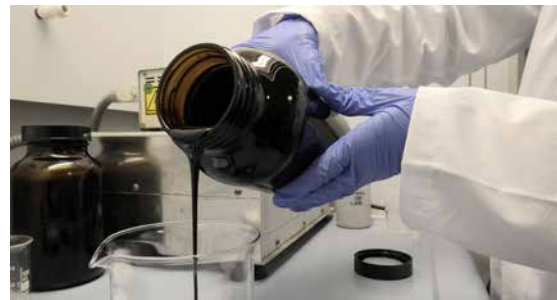
Una biorrefinería permite procesar distintos tipos de biomasa y obtener distintos productos según el tipo de biomasa y las condiciones de operación del reactor (temperatura, tiempo de residencia, carga, etc.). La biorrefinería del LIFE BIOEFFORMED (LIFE19 ENV/ES/000544) utiliza el proceso termoquímico de pirólisis y se obtienen siempre tres fracciones: sólida, líquida y gaseosa, dependiendo principalmente de la temperatura del proceso.

La fracción sólida, obtenida con unos rendimientos entre un 20 y un 60% en masa de la biomasa inicial, es conocida como biochar (*Fotografía 7*). Puede ser utilizada como estructurante del suelo, para producir bioestimulantes para la industria agroquímica o bien puede ser utilizado como biocombustible para producir energía, ya que tiene mayor poder calorífico y es más resistente a la degradación por hongos que la astilla de biomasa convencional porque no tiene humedad. La fracción gaseosa, con bajo poder calorífico, puede utilizarse para calentar parcialmente el reactor de pirólisis y reducir el consumo energético. La fracción líquida (*Fotografía 8*), conocida como líquidos de pirólisis y que se obtiene con unos rendimientos entre el 10 y el 45% en masa de la biomasa inicial, está compuesta por una gran diversidad de compuestos químicos, entre ellos destacar los antioxidantes, azúcares, ácidos y compuestos alifáticos (*Fotografía 8*). Estos bioproductos pueden obtenerse con diferentes técnicas de separación química y proporcionan una fuente de compuestos químicos de gran interés de origen renovable para las industrias farmacéutica, nutricional, alimentaria y química, ofreciendo una alternativa a los compuestos derivados del petróleo de origen fósil. A la fase final del proyecto, se tiene previsto realizar un análisis de viabilidad económica del proceso según el producto obtenido, así como un análisis del ciclo de vida, los resultados de los cuales

establecerán los tratamientos forestales y los productos óptimos para cada tipo de biomasa.



Fotografía 7. Biomasa inicial (parte superior) y fracciones sólidas (biochars) a diferentes temperaturas de 300, 400 y 500 °C (parte inferior) de pino piñonero, pino carrasco con rama, pino carrasco y encina (de izquierda a derecha), obtenidas de la biorrefinería del LIFE BIOEFFORMED.



Fotografía 8. Líquidos de pirólisis (izquierda) y fracciones finales de azúcares, ácidos, antioxidantes y compuestos alifáticos (de izquierda a derecha), obtenidos de la biorrefinería del LIFE BIOEFFORMED.

Conclusiones

El paso del incendio de 1994 por la Serra de la Fatarella ha condicionado totalmente el paisaje actual de los municipios afectados, formado principalmente por una masa joven de pino carrasco con densidades muy variables. Proporcionar una estructura más resiliente al cambio climático está muy ligada a la obtención y mantenimiento de un mosaico de campos y bosques de diferentes estructuras, clave para delimitar la propagación de nuevos incendios y buscar oportunidades para su extinción.

En las zonas donde la regeneración de pino carrasco es abundante, después de unos 30 años del incendio, las masas se encuentran con un crecimiento estancado. La gestión forestal es muy importante para reducir la competencia y permitir el desarrollo de los pies más vitales, garantizando la diseminación futura y la resistencia al estrés hídrico más prolongado.

Todo parece indicar que las características de estas masas no se ajustan a los crecimientos establecidos en los actuales modelos de referencia ORGEST. Sería necesario obtener un modelo específico que tuviera en cuenta las particularidades de estas zonas.

El tratamiento de estas masas en estas fases es costoso, la falta de producto de valor comercial condiciona su implementación y, por tanto, la viabilidad de las masas futuras. La valorización de los productos a través de una biorefinería, de la que se pueden obtener diferentes fracciones y usos, puede ser una oportunidad para mejorar el paisaje y la bioeconomía del territorio.

Agradecimientos

Al Ayuntamiento de La Fatarella, la propiedad privada de cada rodal y en el proyecto LIFE19 ENV/ES/000544 – LIFE BIOEFFORMED.

Referencias

- Beltran, M.; Piqué, M.; Vericat, P.; Cervera T. 2011. *Models de gestió per als boscos de pi blanc (Pinus halepensis Mill.); producció de fusta i prevenció d'incendis forestals*. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Generalitat de Catalunya.
- Fletas, M.; Bayona, M.; Cervera T. 2012. *Estructures de la propietat forestal de Catalunya. Anàlisi de les dades cadastrals*. Centre de la Propietat Forestal. Generalitat de Catalunya.
- Piqué, M.; Castellnou, M.; Valor, T.; Pagés, J.; Larrañaga, M.; Cervera T. 2011. *Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades*. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible de Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Generalitat de Catalunya.



JORNADA

4

Enfermedades foliares de los pinares: situación de los hongos patógenos *Diplodia sapinea* y *Dothistroma* sp. en Cataluña

Francesc Serradó Mestres*. Ingeniero Forestal. Agrotecnio.

Maria Caballol Alsinella*. Biotecnóloga. Universitat de Lleida, Joint Research Unit CTFC-Agrotecnio.

Tomeu Rigo Ribas. Doctor en Física. Servicio Meteorológico de Cataluña.

Carme Farnell Barqué. Doctora en Geografía. Servicio Meteorológico de Cataluña.

Jonàs Oliva Palau. Doctor Ingeniero de Montes. Universidad de Lleida,
Joint Research Unit CTFC-Agrotecnio.

*La primera autoría del artículo es compartida.

Serradó, F., Caballol, M., Rigo, T., Farnell, C., Oliva, J. 2023.

Enfermedades foliares de los pinares: situación de los hongos patógenos *Diplodia sapinea* y *Dothistroma* sp. en Cataluña.
A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 44-53.

Resumen

Los pinares de Cataluña se encuentran afectados por dos enfermedades foliares causadas por los hongos patógenos *Diplodia sapinea* y *Dothistroma* sp. La *D. sapinea* causa la muerte de los brotes de los pinos, afecta negativamente a la regeneración y puede causar defoliaciones importantes después de episodios de granizo. La *Dothistroma* afecta a las hojas, provoca defoliación en las copas y una parada del crecimiento diametral de los árboles. Actualmente estos hongos están muy extendidos en los bosques de Cataluña y, por tanto, es necesario poder identificarlos en el campo y plantear posibles medidas de gestión para apaciguar su impacto.

El cambio global y las patologías forestales

Los impactos del cambio global son cada vez más evidentes en los bosques y pueden explicar, en parte, la aparición recurrente de nuevos focos de afectación de diversas enfermedades. Los efectos del cambio global sobre la sanidad forestal deben entenderse como la combinación de tres cambios: el cambio climático, la globalización y el cambio de usos del suelo (Stenlid, J. and Oliva, J., 2016).

El cambio climático está provocando que los árboles se encuentren más afectados que antes por las altas temperaturas y por períodos más largos de sequía. Este hecho está generando un incremento de las poblaciones de patógenos y plagas y un incremento de la susceptibilidad de los bosques. El hongo *D. sapinea* es un ejemplo de patógeno que se encuentra beneficiado por las altas temperaturas y, por lo tanto, por el cambio climático.

Por otra parte, el comercio internacional de planta viva derivado de la globalización ha sido determinante en la llegada de plagas y patógenos exóticos que afectan tanto a especies locales como exóticas. Un ejemplo sería el caso de la *Dothistroma* sp., ya que se ha encontrado en Cataluña, pero probablemente es de origen exótico.

En las últimas décadas, la dinámica socioeconómica ha cambiado el paisaje y el uso de los

bosques de Cataluña. La superficie forestal en Cataluña se ha incrementado por el abandono rural y la falta de gestión forestal, llegando a cubrir el 64,6% de la superficie total. Los bosques presentan altos niveles de competencia intra e interespecífica que los pueden hacer más susceptibles a tener problemas sanitarios, bien por un incremento de estrés en los árboles o bien porque presentan unas condiciones que favorecen la dispersión e infección de patógenos.

El tizón del pino

El hongo *D. sapinea* es un ascomiceto que provoca la enfermedad del tizón del pino ("Diplodia shoot blight" en inglés o "assecat del brot del pi" en catalán) (Tabla 1). Se trata de un hongo que es capaz de infectar los árboles sin causar síntomas, es decir, puede vivir en él como endófito. Una vez en el interior del árbol, puede permanecer durante años sin ser detectado o, dicho de otro modo, puede permanecer en estado latente durante largos períodos. Después de que el árbol se vea afectado por un período de estrés, la *D. sapinea* puede activarse y pasar del estado latente al estado patógeno, manifestando los síntomas de la enfermedad. El estrés en los árboles puede producirse después de períodos de sequía (Stanosz et al., 2001) o de episodios de granizo (Oliva et al., 2021).

Tabla 1. Comparación de los principales rasgos de las enfermedades del tizón del pino y la banda roja del pino.

	Tizón del pino	Banda roja del pino
Nombre del hongo	<i>Diplodia sapinea</i>	<i>Dothistroma</i> sp.
Origen	Nativo	Exótico
Órgano afectado	Brotos jóvenes	Acículas de años anteriores y en ramas inferiores de la copa.
Síntomas	Curvatura i coloración marrón del brote	Bandas marrones-rojizas y secado de la parte superior de la acícula.
Impacto principal	Muerte de los brotes del regenerado	Defoliación del arbolado adulto y parada del crecimiento

Fotografías



El ataque de la *D. sapinea* se da en brotes del año, produciéndose a finales de primavera y principios de verano, que es cuando se desarrollan éstos. Es por este motivo que es común observar brotes infectados que presentan acículas de poca longitud, ya que no se han terminado de desarrollar. Las acículas y brotes infectados permanecen en el dosel arbóreo donde puede producirse la esporulación a lo largo de los años, infectando el mismo u otros árboles (Munck et al., 2009) a través de la salpicadura de gotas de lluvia y vientos húmedos (Swart and Wingfield, 1991).

El tizón del pino provoca que los brotes se acorten, se engrosen y se decoloren (Fotografía 1). En el caso de producirse necrosis, es decir, la muerte del brote, se da una curvatura y una coloración marrón de éste. En cuanto a la copa, estos brotes jóvenes de coloración marrón se distribuyen de forma aleatoria, viéndose claramente la diferencia de color entre los afectados y los no afectados.



Fotografía 1. Brote con síntoma de desecación por *D. sapinea*. SEQ Fotografía *ARABIC. Fuente: propia.

Las altas temperaturas y la sequía en la distribución de la *Diplodia sapinea*

La *D. sapinea* es un patógeno que necesita temperaturas elevadas para su desarrollo. En los últimos años, el aumento de las temperaturas parece haber incrementado los daños por *D. sapinea* en Europa (Fabre et al., 2011), donde ya hace tiempo que está establecida, y se ha detectado una expansión del patógeno hacia el norte de Europa (Brodde et al., 2019).

En los bosques de pino laricio de Cataluña, la *D. sapinea* es un patógeno bastante abundante. Un estudio de 70 parcelas que abarcaban la mayor parte del área de distribución de la especie mostró que el 57% de los bosques estaban afectados. En promedio, el 22% de los árboles adultos y el 49% del regenerado mostraban síntomas (Figura 1). Se observó que los bosques más afectados estaban situados a menor altitud y que la temperatura era un factor determinante en la distribución de la *D. sapinea*. (Caballol et al., 2022a).

Los bosques con condiciones de temperatura más alta presentaban mayor producción y supervivencia de esporas del patógeno en el arbolado adulto. Estas esporas en el arbolado adulto parecían ser las responsables de la afectación del regenerado de pino laricio. Así pues, el arbolado adulto podría haber actuado como reservorio de esporas del patógeno. En cuanto al regenerado, la supervivencia del patógeno parecía verse afectada por el frío del invierno, presentando mayor cantidad de patógeno en el regenerado en inviernos con temperaturas más suaves, es decir, la temperatura del invierno podría ser un paso clave para el desarrollo de la enfermedad.

En el estudio, se observó que en los bosques de baja densidad y los de estructura irregular había una mayor cantidad de esporas en los árboles adultos. De esta forma parece que los bosques más abiertos podrían favorecer una mayor producción de esporas del patógeno.

También se pudo ver que en los bosques más afectados por *D. sapinea* existía una mayor densidad de regeneración de *Quercus ilex*. Es posible que las quercíneas se estuvieran beneficiando del impacto negativo de la *D. sapinea* en la regeneración de pino laricio. Esta dinámica podría provocar en un futuro el cambio en la composición de especies de los bosques.

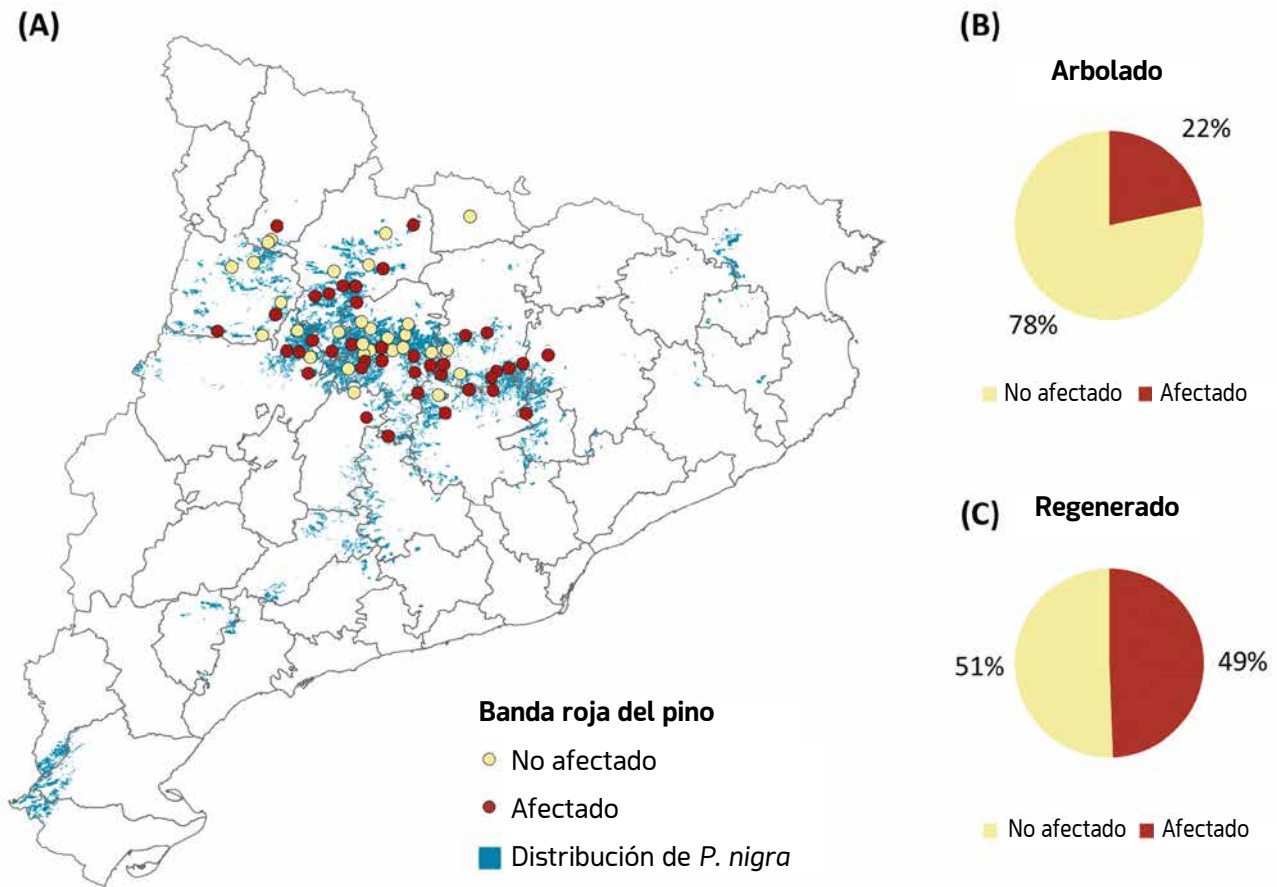


Figura 1. (A) Distribución de los bosques de *Pinus nigra* inventariados en Cataluña según la afectación de *Diplodia sapinea*. Porcentaje de (B) el arbolado adulto y (C) del regenerado afectado por *D. sapinea* en los bosques de Cataluña. Se ha considerado que un bosque estaba afectado cuando presentaba arbolado adulto con un 10% o más de la copa afectada por *D. sapinea*. En cuanto al arbolado adulto y al regenerado, se ha considerado que estaban afectados cuando presentaban un 10% o más de afectación por *D. sapinea*.

Gestión de los bosques para mitigar el efecto de la *Diplodia sapinea*

No hay ningún estudio en el que se hayan comparado de manera explícita diferentes tratamientos silvícolas. Al menos, y en base a las condiciones que afectan a la enfermedad, podría pensarse que determinadas actuaciones podrían ayudar a disminuirla. De esta forma y debido a que el patógeno se desarrolla favorablemente en condiciones cálidas, sería recomendable mantener las estructuras no demasiado abiertas para no favorecer la producción de esporas. Además, debe tenerse en cuenta el temperamento de la especie que se gestiona, es decir, el comportamiento frente a la luz y la humedad. En caso de realizar tratamientos de dosificación de la competencia, sería recomendable que fueran de baja intensidad y sostenidos en el tiempo para no generar grandes aperturas.

Relacionado también con la apertura del dosel arbóreo, sería recomendable evitar las estructuras irregulares que, al estar formadas por árboles de diferentes edades y alturas, permiten una mayor incidencia solar que aumenta la temperatura. Este aumento de la temperatura de la masa podría favorecer la producción de esporas del patógeno. Por el contrario, las estructuras regulares están formadas por árboles de la misma edad que crean una estructura de copas más cerrada. Así, la temperatura en la masa no es tan alta y la producción de esporas no aumentaría.

En zonas afectadas por *D. sapinea* y con abundante regeneración de quercíneas, podría ser recomendable estudiar la viabilidad de estas quercíneas en el futuro. En caso de que fuera viable, se podría optar por favorecer una transición natural a un cambio de especie dominante y asegurar así la continuidad del bosque.



Fotografía 2. Bosque de pino laricio (*Pinus nigra*) afectado por *Diplodia sapinea* después de una granizada.
Fuente: propia.

El granizo de 2022 y la afectación de *Diplodia sapinea*

En el 2022 se produjeron una gran cantidad de episodios de granizo en Cataluña y en toda Europa. Este hecho ha sido notorio en los bosques de Cataluña, puesto que se han podido detectar un gran número de pinares con las copas afectadas. Actualmente, se está llevando a cabo un estudio para caracterizar los bosques afectados por *D. sapinea* después de los episodios meteorológicos de 2022.

La afectación de los árboles por *D. sapinea* después de una granizada se produce por el impacto de la piedra en brotes y ramas. A partir de ese punto de impacto se produce el secado de toda la parte superior del brote. A nivel de copa, este secado es observable por la coloración marrón rojizo de forma completa o localizada en algunas zonas (Fotografía 2). Las zonas de la copa afectadas pueden verse distribuidas aleatoriamente o también en orientaciones específicas, probablemente indicando la dirección de caída de la piedra en el momento de la tormenta.

En Cataluña, en un estudio preliminar, se ha podido detectar once comarcas con zonas afectadas a causa de los episodios de granizo entre los meses julio y septiembre de 2022 (Figura 2A). Como ejemplo encontramos el municipio de Navès (Solsonès), donde se produjo un episodio de granizo y una posterior aparición de síntomas (Figura 2B-E), que de forma general se ha estimado que se da entre las dos y las seis semanas posteriores al pedrisco.

La afectación de *D. sapinea* después de un episodio de granizo se ha dado en pino carrasco (*Pinus halepensis*), pino piñonero (*P. pinea*), pino laricio (*P. nigra*) y pino silvestre (*P. sylvestris*). Se estima que más de 2.000 hectáreas de pinares han sido afectadas por *D. sapinea* después de las perturbaciones meteorológicas del 2022. En comparativa, la superficie quemada en 2022 por incendios ha sido de 6.136 hectáreas.

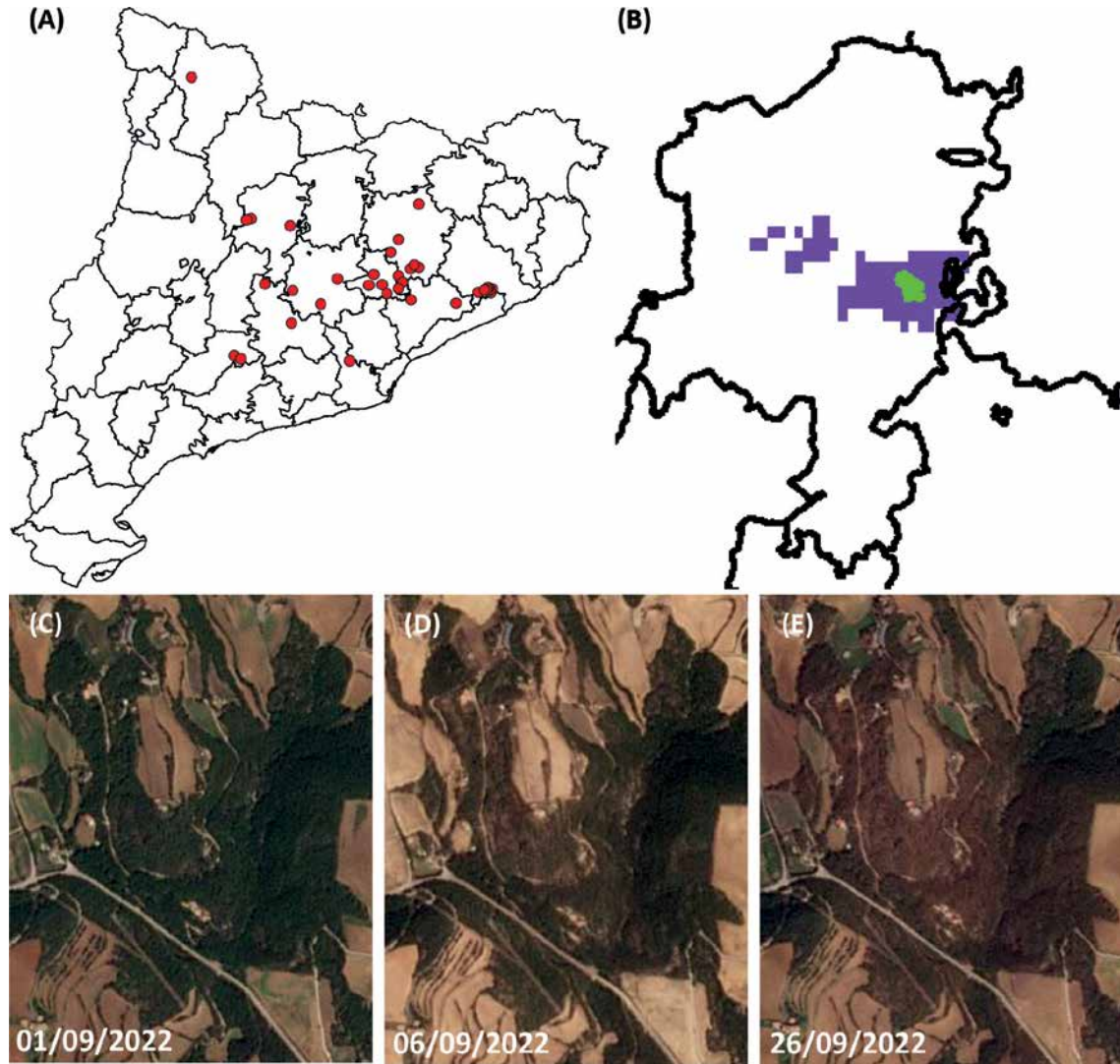


Figura 2. (A) Mapa de Cataluña con la distribución de los puntos afectados por *D. sapinea* en 2022 después de los episodios de granizo. (B) Mapa radar con la nube que provocó el granizo del día 03/09/2022 (zona violeta) y la zona afectada por *D. sapinea* en Navès (zona verde). Sucesión de imágenes de satélite Planet con incremento de afectación en el tiempo de la zona afectada por *D. sapinea* en Navès los días (C) 01/09/2022 antes del granizo, (D) 06/09/2022 y (E) 26/09/2022. Fuente: propia.

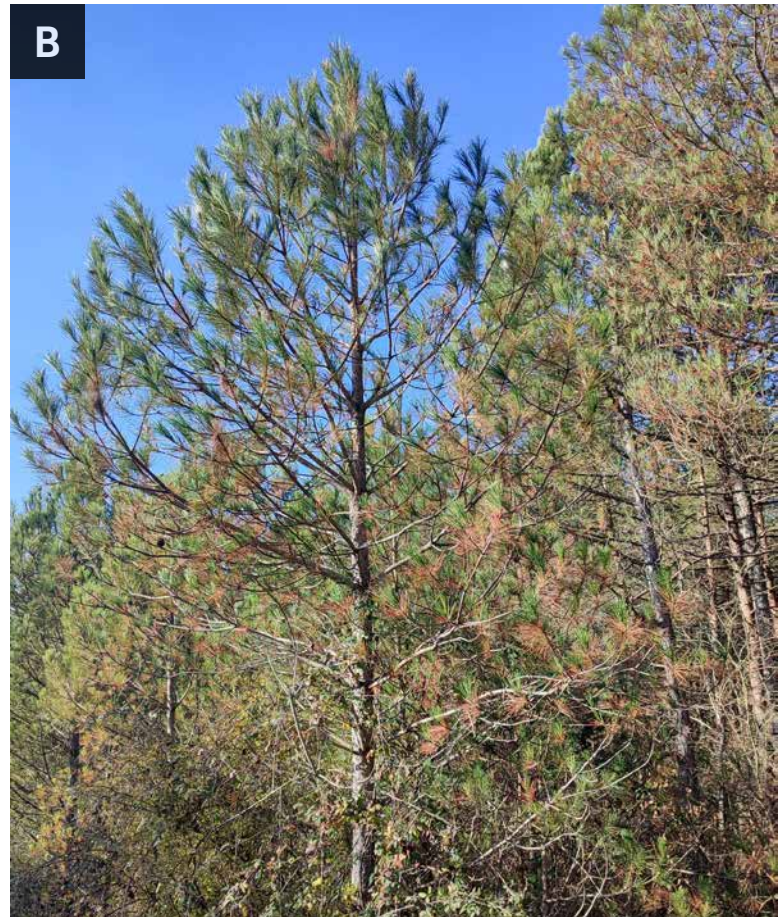
Gestión de las zonas afectadas por *Diplodia sapinea* después de los episodios de granizo

La cuestión principal a la hora de gestionar una zona afectada por *D. sapinea* es saber si los árboles afectados mejorarán, morirán o no recuperarán el crecimiento. También se debe considerar si los árboles afectados serán una fuente de inóculo con la posibilidad de que se disperse la enfermedad en los bosques vecinos o, en cambio, la afectación quedará restringida al límite afectado por la granizada.

Respecto a la primera cuestión, las especies de pinos presentan una diferente respuesta frente a la infección de *D. sapinea* (Caballol et al., 2022b), por lo tanto, será necesario adaptar el

criterio de gestión a cada una de ellas. En cuanto al pino silvestre, sería recomendable cortar los pies más afectados, ya que probablemente morirán o empeorarán su salud. En el caso del pino piñonero, los que presenten una media o alta afectación sería recomendable eliminarlos. Por otra parte, el pino carrasco y el pino laricio no se espera que empeoren en cuanto a sanidad, a lo que se aplicará un criterio más conservador a la hora de determinar la corta de los pies.

Se podría considerar la opción de avanzar el corte en caso de que uno de los bosques afectados por *D. sapinea* después de una granizada se encuentre cercano a la edad del turno de corte. También podrían reservarse árboles no afectados para asegurar una fuente de semilla.



Fotografía 3. (A) Penacho de pino laricio afectado por la banda roja; (B) Pino afectado por la banda roja.
Fuente: propia.

La banda roja del pino

La *Dothistroma* sp. es un hongo ascomiceto que provoca la enfermedad de la banda roja del pino ("Dothistroma needle blight" en inglés) que afecta a las acículas del año anterior (Tabla 1). Los dos hongos principales que la provocan son la *D. pini* y la *D. septosporum*, siendo ésta última la más distribuida por Europa.

Los síntomas de la enfermedad se muestran en las acículas de los pinos donde se forman unas bandas rojas. Desde el punto donde se forman las bandas, la parte superior de la acícula se seca (Fotografía 3A). Una vez afectadas, las acículas caen del árbol prematuramente provocando una defoliación en la copa del árbol. El secado de las acículas y la defoliación prematura provocan la parada del crecimiento que, más raramente, puede causar una muerte lenta en aquellos árboles afectados durante años consecutivos.

La observación de la enfermedad en la copa es más complicada que en el caso de la *D. sapinea*. La banda roja se encuentra afectando mayoritariamente en la parte inferior de la copa y en las partes más interiores de las ramas. De esta forma se puede ver cómo el verde de la copa se difumina por la coloración marrón de las acículas afectadas (Fotografía 3B).

El ciclo de la enfermedad comienza cuando se observan los síntomas de la banda roja durante el otoño y el invierno, con la formación de manchas amarillas en la acícula. En primavera, esta coloración se vuelve más roja y forma las bandas en las que se desarrollan los cuerpos de fructificación. Estos cuerpos de fructificación no serán maduros hasta la siguiente primavera, momento a partir del cual se liberarán esporas durante todo el período de crecimiento. En otros estudios, se ha visto que la dispersión de esporas es beneficiada por las épocas lluviosas acompañadas de temperaturas elevadas. Sin embargo, en la región mediterránea se ha observado que la precipitación es el único factor limitante en la dispersión (Desprez-Loustau et al., 2007).

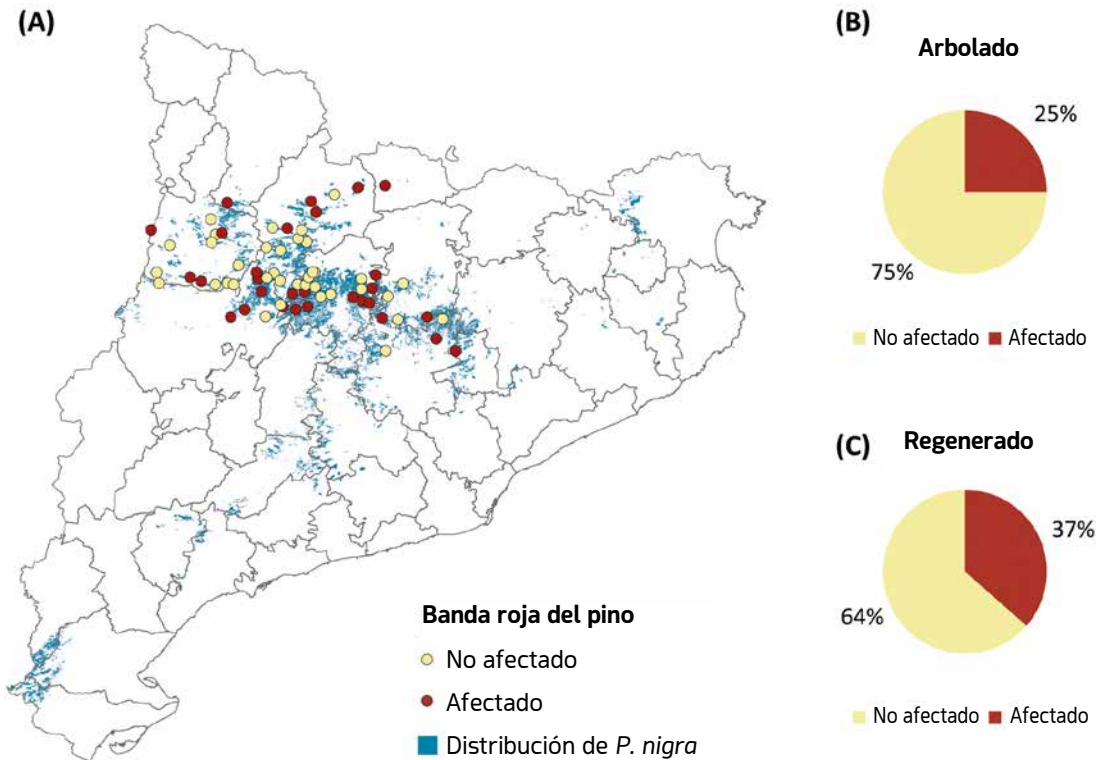


Figura 3. (A) Mapa de Cataluña con la distribución de los bosques de *Pinus nigra* inventariados según la afectación de *Dothistroma pini*. Porcentaje de (B) el arbolado adulto y (C) del regenerado afectado por *D. pini* en los bosques de Cataluña. Se ha considerado que un bosque estaba afectado cuando presentaba arbolado adulto con un 10% o más de la copa afectada por *D. pini*. En cuanto al arbolado adulto y al regenerado, se ha considerado que estaban afectados cuando presentaban un 10% o más de afectación por *D. pini*. Fuente: propia.

La *Dothistroma pini* en Cataluña

La detección de bosques afectados por *Dothistroma* sp. en Cataluña ha generado la necesidad de caracterizar su afectación para conocer el impacto. Un estudio preliminar de 66 parcelas cubriendo la mayor parte del área de distribución de pino laricio, muestran que el 43% de los bosques estaban afectados por banda roja. Por término medio, en cada bosque el 25% de los árboles adultos y el 37% del regenerado estaban afectados (Figura 3). El hongo causante de la banda roja en todos los bosques afectados fue la *D. pini*, sin tener presencia de *D. septosporum*.

Los bosques más afectados por la banda roja eran los más cercanos a los fondos de valle. Este resultado podría relacionarse con las condiciones de humedad que suelen darse en los fondos de valle y que podrían ser favorables para el establecimiento de la *D. pini*. En cambio, el clima no parece ser un factor determinante en la distribución del patógeno.

En los bosques con mayor presencia de la enfermedad había una mayor defoliación de las copas del arbolado adulto. A su vez, se ha observado que los bosques más defoliados presentaban una mayor superficie de matorral. De esta forma, la defoliación de los árboles podría estar permitiendo una mayor incidencia de luz en el sotobosque y posibilitando el establecimiento de más arbustos. Este aumento de superficie arbustiva podría ser determinante en la propagación de incendios.

Gestión de los bosques para mitigar el efecto de la *Dothistroma pini*

Como en el caso de la *D. sapinea*, no existe ningún estudio donde se haya comparado diferentes tratamientos silvícolas para mitigar los efectos de la enfermedad. Sin embargo, sabiendo las condiciones en que se desarrolla, podrían determinarse actuaciones para ayudar a disminuirla.

La *D. pini* es un patógeno que parece desarrollarse favorablemente en condiciones de

humedad. Por eso, en zonas húmedas como los fondos de valle, se podría optar por favorecer una transición natural a un cambio de especie dominante para asegurar la continuidad del bosque.

También podrían llevarse a cabo intervenciones frecuentes y de baja intensidad para favorecer el regenerado de quercíneas y promover una futura masa mixta. Este tipo de masas mixtas entre coníferas y frondosas parecen ser más capaces de resistir a perturbaciones de carácter biótico, como insectos y hongos patógenos (Pautasso et al., 2005).

Conclusiones

En el contexto de cambio climático, la sanidad forestal es un factor cada vez mayor para garantizar la continuidad de los bosques. En Cataluña, el secado del brote del pino y la banda roja del pino son enfermedades cada vez más presentes en los bosques, sobre todo ante los efectos del cambio climático actuales. Por tanto, es necesario realizar un seguimiento de la evolución de estas enfermedades en los bosques para adaptar las medidas de gestión que se lleven a cabo.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el proyecto PID2021-1273280B-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España. Maria Caballol está financiada por la beca AGAUR FI 2021FI_B00223 de la Secretaría de Universidades e Investigación de la Generalitat de Cataluña y del Fondo Social Europeo. Francisco Serradó está financiado por el Programa Investigo del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España.

Referencias

- Brodde, L., Adamson, K., Camarero, J.J., Castaño, C., Drenkhan, R., Lehtijärvi, A., Luchi, N., Migliorini, D., Sánchez-Miranda, Á., Stenlid, J., Özdağ, Ş., Oliva, J., 2019. *Diplodia* tip blight on its way to the north: Drivers of disease emergence in northern Europe. *Front. Plant Sci.* 9, 1818-1829
- Caballol, M., Méndez-Carín, A.L., Serradó, F., De Cáceres, M., Coll, L., Oliva, J., 2022a. Disease in regenerating pine forests linked to temperature and pathogen spillover from the canopy. *J. Ecol.* 110, 2661-2672.
- Caballol, M., Ridley, M., Colangelo, M., Valeriano, C., Camarero, J.J., Oliva, J., 2022b. Tree mortality caused by *Diplodia* shoot blight on *Pinus sylvestris* and other Mediterranean pines. *For. Ecol. Manag.* 505, 119935.
- Desprez-Loustau, M.L., Robin, C., Reynaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., Husson, C., Marçais, B., 2007. Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest-pathogenic fungi. *Plant Pathol.* 29, 101-120.
- Fabre, B., Piou, D., Desprez-Loustau, M.-L., Marçais, B., 2011. Can the emergence of pine *Diplodia* shoot blight in France be explained by changes in pathogen pressure linked to climate change? *Glob. Change Biol.* 17, 3218-3227.
- Munck, I.A., Smith, D.R., Sickley, T., Stanosz, G.R., 2009. Site-related influences on cone-borne inoculum and asymptomatic persistence of *Diplodia* shoot blight fungi on or in mature red pines. *For. Ecol. Manag.* 257, 812-819.
- Oliva, J., Ridley, M., Redondo, M.A., Caballol, M., 2021. Competitive exclusion amongst endophytes determines shoot blight severity on pine. *Funct. Ecol.* 35, 239-254.
- Pautasso, M., Holdenrieder, O., Stenlid, J., 2005. Susceptibility to fungal pathogens of forests differing in tree diversity. *For. Divers. Funct.* 263-289.
- Stanosz, G.R., Blodgett, J.T., Smith, D.R., Kruger, E.L., 2001. Water stress and *Sphaeropsis sapinea* as a latent pathogen of red pine seedlings. *New Phytol.* 149, 531-538.
- Stenlid, J., Oliva, J., 2016. Phenotypic interactions between tree hosts and invasive forest pathogens in the light of globalization and climate change 371, 20150455.
- Swart, W.J., Wingfield, M.J., 1991. Biology and control of *Sphaeropsis sapinea* on *Pinus* species in South Africa. *Plant Dis.* 75, 761-766.

JORNADA

5

Uso de la madera local para la construcción industrializada

Mario Beltrán Barba. Ingeniero de Montes, Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya y Colegio Oficial de Ingenieros de Montes de Cataluña.

Sergi Sebastia. Técnico superior en proyectos de edificación, Fustes Sebastia.

Jordi Gené Sera. Ingeniero de Montes, Institut Català de la Fusta – CTFC.

Jorge Mercader Esteve. Ingeniero de Montes, Leaderinglab y Colegio Oficial de Ingenieros de Montes de Cataluña.

Cristina Montserrat Rodríguez. Ingeniera de Montes, Entrearbres y Colegio Oficial de Ingenieros de Montes de Cataluña.

Beltrán, M., Sebastia, S., Gené, J., Mercader, J., Montserrat, C. 2023. Uso de la madera local para la construcción industrializada. A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 54-63.

Resumen

Solo una pequeña parte de la madera consumida en Cataluña proviene de nuestros bosques (10-15% aprox.), y la mayor parte se destina a combustible y embalaje, y esto no refleja el potencial de la madera local por la construcción industrializada. Con el cambio climático y global, la apuesta por la bioeconomía, la gestión forestal sostenible y multifuncional y la descarbonización de la construcción son claves para la adaptación y mejora de los ecosistemas y, a la vez, para la mejora socioeconómica de las zonas rurales forestales.

En la jornada se ha repasado el potencial de los bosques catalanes para la producción de madera para construcción, el proceso de extracción, transformación y uso de madera local de manera industrializada: del bosque a la fábrica y a la obra. Este recorrido permite debatir sobre la situación actual y futura de la construcción con madera y de los procesos industriales de transformación de la madera local.

Introducción

La madera se ha utilizado como material de construcción durante todas las edades de la humanidad hasta la actualidad. Es una materia prima tan versátil y con tantos usos posibles que forma parte del desarrollo de todas las sociedades, y todavía ofrece mucho margen para la investigación, innovación y desarrollo de nuevos usos. Aparte de servir de material de construcción para objetos y estructuras y para los usos térmicos, con más o menos manipulación del material en bruto, la madera se puede emplear para una lista inacabable de aplicaciones a partir de varios procesados: componentes aislantes, fibras textiles, fibras de carbono, materiales vidriados, baterías de lignina, nanocelulosa por usos electrónicos, material por impresiones 3D...

En cuanto a los usos constructivos, la madera destaca por sus propiedades de resistencia, flexibilidad, ligereza, aislamiento térmico, eléctrico y acústico y durabilidad interior y exterior. Puede soportar grandes esfuerzos sin agrietarse ni romperse, cosa que la hace perfecta para estructuras portantes, se puede manipular fácilmente para adaptarse a cualquier estética de diseño y es un material excelente para viviendas energéticamente eficientes, además de contribuir a la resistencia al fuego. Como resultado, cuando se utiliza correctamente, la madera crea bellas infraestructuras con la sostenibilidad en su centro, a la vez que proporciona longevidad y estética simultáneamente en el mundo de la arquitectura, tanto si se utilizan estilos modernos como tradicionales.

Estas fortalezas como material se amplifican cuando se incorpora su provisión a partir de la gestión forestal sostenible. No es nada nuevo en el mundo forestal, la sostenibilidad de los aprovechamientos, pero es necesario destacarlo porque la percepción social puede estar condicionada por prejuicios y esto representa una amenaza para el desarrollo de la bioeconomía basada en el uso de la madera local. Desde que Hans Carl Von Carlowitz estableció el concepto de sostenibilidad (o sustentabilidad) en su tratado de silvicultura de 1713, varias corrientes sociales han reivindicado su esencia, a veces incluso para cuestionar esta virtud intrínseca de los materiales naturales renovables.

Sea como sea, el contexto socioeconómico y ambiental actual dibuja la oportunidad de una nueva era de la madera, especialmente para usos constructivos (*Figura 1*), por multitud de factores: su sostenibilidad, por practicidad, por su calidez de los acabados y efectos positivos en salud mental, por su papel clave en la bioeconomía circular, como herramienta para el equilibrio territorial y otros elementos más difusos; y también como contraposición a los materiales de construcción convencionales como el cemento y el acero y sus impactos negativos.

El objetivo de esta jornada técnica es repasar el potencial de los bosques catalanes para la provisión de madera apta para usos constructivos industrializados, actuales y futuros, y los procesos industriales necesarios y sus innovaciones. La jornada empieza con la visita al monte "Tossal y Sant Magí, Castell i Abad, Pallerols" (CUP-L 12), en el municipio de



Figura 1. Vivienda en construcción empleando paneles de madera CLT que son estructurales y constructivos a la vez y también pueden ofrecer el acabado final.

Montferrer i Castellbó (Alt Urgell), propiedad de la Generalitat de Catalunya, con una superficie de 2.164 ha arboladas (65% pino rojo, 35% pino negro). El monte cuenta con un Proyecto de Ordenación aprobado el 2010 por una vigencia de 12 años, el cual fue redactado por la ingeniera Tània Giró Bartra (Punto Forestal SL), con planificación para extraer 3.870 m³/año de unas 753 ha (aprox. 60 m³/ha-any). La visita se centra en un rodal donde se hicieron actuaciones silvícolas en 2018 (Figura 2).

Potencial de los bosques catalanes

En multitud de ocasiones y contextos se ha abordado la diagnosis y el análisis de los bosques y su evolución reciente. En términos globales, los bosques catalanes son extensos y diversos, en cuanto a formaciones y estructuras forestales, y en cuanto a vocaciones, valores y usos pasados y actuales. Con una superficie de más de 1,3 Mha según el Mapa de Cubiertas del Suelo de 2018, la cubierta forestal arbolada es el uso del suelo más frecuente del paisaje catalán (el 41% del total de Catalunya es bosque). Los bosques acogen 21 hábitats de interés comunitario, 6 de los cuales son prioritarios y suman unas 500.000 ha dentro de la Red Natura 2000 (un 38% del total).

Las Tipologías forestales ORGEST (Piqué et al., 2014) identifican 33 especies arboladas

dominantes y 171 tipos de bosques diferentes por composición específica arbolada, pero la diversidad de situaciones es mucho más alta si se atiende a las diferentes calidades de estación y estados de desarrollo, y más todavía cuando se incorpora la variable de la gestión. Los datos actuales cuantifican en más de 266.000 personas físicas y jurídicas propietarias forestales privadas y más de 200 entidades propietarias públicas. La propiedad privada supone un 78% de la superficie forestal, con una media de 10 ha por finca. En total, anualmente se extraen del bosque unos 600.000 m³ de madera de diferentes tipos, lo que supone aproximadamente un 27% del crecimiento anual (datos del Observatorio Forestal Catalán).

Detrás de esta foto fija hay todo un historial de cambios socioeconómicos, ecológicos y climáticos que han modelado el paisaje catalán, desde la economía rural de subsistencia basada en la extracción de recursos pasando por la industrialización y las migraciones hasta la terciarización y globalización. Con todo, el momento actual es el de más superficie forestal de la historia reciente, como también el de más población (Figura 3). Claramente, las funciones demandadas en los bosques han cambiado sustancialmente, como un componente más del cambio del contexto en el cual se han desarrollado los bosques actuales, y que previsiblemente continuará cambiando.

A pesar de la gran diversidad de situaciones en que podemos encontrar los bosques catalanes, de manera global las últimas décadas ha dominado la dinámica de expansión y densificación,



Figura 2. Imagen aérea de la zona de visita al monte de Pallerols, los años 1945, 2017 (antes de las actuaciones), 2019 (después de las actuaciones) y 2022.

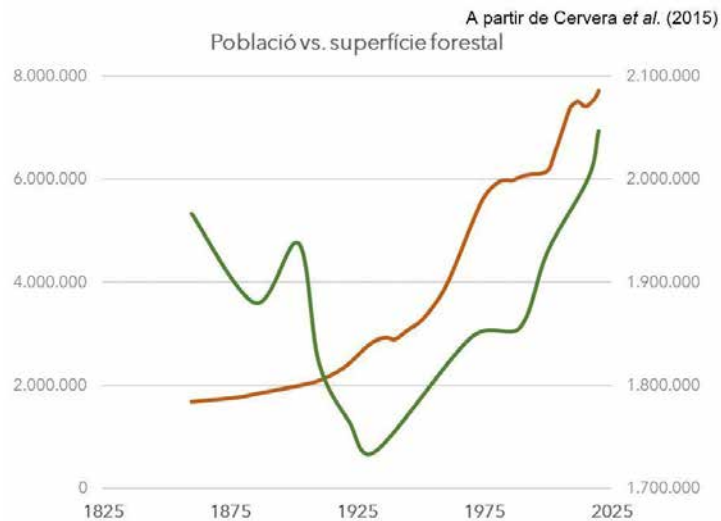


Figura 3. Evolución de la superficie forestal confrontada a la evolución de la población en Cataluña, a partir de datos de Cervera et al. (2015).

resultando en una gran abundancia de bosques jóvenes, homogéneos y densos a la vez que muy vulnerables a los incendios forestales (continuidad de combustible), a la sequía (competencia por los recursos) y a la pérdida de biodiversidad (simplificación del hábitat). La falta de gestión en estos nuevos bosques y el abandono de actividades sostenibles en bosques más antiguos, juntos con el cambio climático, afecta negativamente los servicios ecosistémicos que nos ofrecen. A escala de paisaje, es notable el descenso del caudal de los ríos por el mayor consumo de agua de la vegetación (Vicente-Serrano et al., 2016) o el descenso de los indicadores de biodiversidad de las especies y hábitats asociados a los bosques (Brotons et al., 2020).

Para hacer frente a estos problemas, hay que desarrollar una adecuada gestión forestal, específicamente diseñada para la mejora de las

capacidades de adaptación al cambio climático y desarrollada en un marco de planificación en diferentes escalas espaciotemporales. Con una silvicultura correcta, podemos transformar masas desestructuradas, vulnerables, con baja capacidad de acoger biodiversidad y sin opciones de rendimiento económico hacia masas adultas desarrolladas con buenas capacidades para la biodiversidad y el aprovisionamiento rentable (Figura 4). La mejora de los bosques de manera dirigida, no solo aumenta la resiliencia y resistencia a los impactos del cambio climático, sino que favorece la provisión de servicios ecosistémicos elementales como la generación de agua azul, la producción de bienes directos, la acogida de biodiversidad y el entorno de ocio y el paisaje (Figura 5). Por mucho que se quiera focalizar la gestión forestal en un objetivo, la multifuncionalidad es intrínseca en los bosques y siempre se tiene que integrar en su manejo.

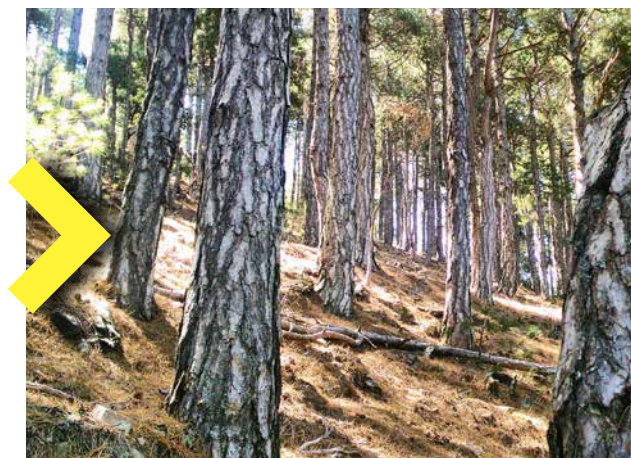


Figura 4. La silvicultura es la herramienta clave para la adaptación de los bosques al cambio climático y la provisión de servicios ecosistémicos. Izquierda, bosque de laricio explotado de manera regresiva y posteriormente abandonado. Derecha, bosque de laricio gestionado en positivo de manera continua que ha llegado a un estado de madurez y capitalización elevada.



Figura 5. La multifuncionalidad es intrínseca en los bosques y un factor determinante para su gestión (agua, PFNM, biodiversidad, ocio).

Si el contexto socioeconómico y climático ha cambiado y es previsible que continúe cambiando, también la gestión forestal necesita incorporar mejoras para adecuarse al contexto. La gestión forestal sostenible y multifuncional tiene que basarse en una cuidadosa diagnosis a escala de rodal, tanto del estado actual como de las dinámicas pasadas y previsibles. En el marco de una planificación estratégica se establecen los objetivos más adecuados en las vocaciones de cada zona y de manera coordinada en el paisaje, y con la planificación operativa a escala de rodal se realiza la optimización de la gestión a la zona. Tanto si el contexto permite asignar un objetivo preferente de producción de madera como si los objetivos determinados son otros, el diseño de las actuaciones silvícolas se tiene que basar en directrices técnicas específicas.

A pesar de que las necesarias innovaciones en planificación y gestión forestal para la activación de una bioeconomía que tiene que servir de motor de la actividad sostenible al mundo rural se implementan a diferentes escalas y ámbitos, un eslabón clave continúa siendo la implementación sobre el terreno. El marco conceptual descrito necesita potenciar la profesionalización de la ejecución de las actuaciones silvícolas, para mejorar en términos de eficiencia y seguridad y para asegurar el cumplimiento de los objetivos multifuncionales marcados. Esta línea ha estado presente en varias Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera en el presente y anteriores años, y sobre esto solo queda remarcar la importancia del marcaje. Si se quieren promover actuaciones complejas, basadas en claras selectivas y multitud de factores a tener en cuenta para cortar y desemboscar árboles, hace falta realizar el marcaje completo del rodal de actuación. Por parte del personal especializado, se tienen que identificar todos los árboles a cortar, los árboles de futuro a respetar (Figura 6) y todos

aquellos factores que condicionan la calidad del trabajo: elementos de valor a proteger, accesos y desembosque y zonas de acopio y clasificación optimizadas.

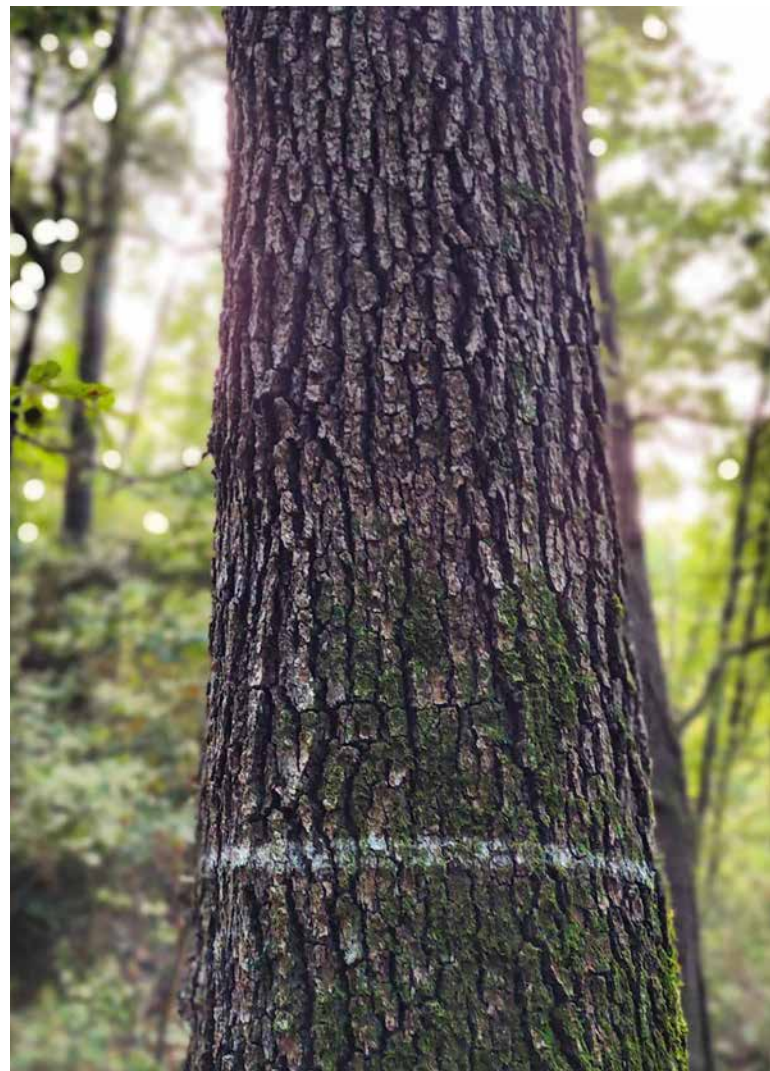


Figura 6. Roble marcado como árbol de futuro por el potencial productivo de madera de calidad, alrededor del cual se aplica una clara selectiva.



Figura 7. Transporte, dimensionado inicial y preparación de la madera para su transformación industrial.

Proceso industrial de transformación

El proceso industrial desde el bosque hasta el edificio empieza con la extracción y transporte de la madera en rollo hasta la fábrica, idealmente contando con una clasificación previa por destinos en su punto de acopio; entonces los troncos se descortezan, secan y se dimensionan de manera preliminar (*Figura 7*). En función de la especie (normalmente pino negro, pino rojo y abeto) y el uso previsto para aquel lote, este preprocesado se hace de una manera u otra (tiempo, humedades objetivo, dimensiones de la primera corta, etc). Con todo, la transformación más intensa o tecnificada (aparte del secado) se da desde la madera en bruto hasta la pieza final que se envía a obra.

La madera local tiene una calidad variable en función de las características tecnológicas de los árboles: dimensiones totales, nudos vivos y muertos, conicidad, rectitud, concentración de anillos... Los nudos y las fibras reviradas son los limitantes más frecuentes, además de la medida en diámetro y longitud, y son precisamente los factores más diferentes respecto a la madera importada. También, hay que tener en cuenta que la madera importada se puede conseguir con un preprocesado que aumenta su calidad.

Los paneles CLT se componen de láminas de madera encoladas a alta presión en varias capas en forma de cruz (dos direcciones), a partir de listones (*Figura 8*). El resultado son placas sólidas, resistentes y ligeras, que soportan altas cargas y tienen una formidable estabilidad dimensional, con buen aislamiento acústico y



Figura 8. Los paneles CLT son laminados cruzados que permiten generar paneles de grandes dimensiones con varios usos constructivos.



Figura 9. Detalle del fingerjoint entre dos piezas para generar una de más grande.



Figura 10. Interior acabado de una vivienda basada en CLT, que hace las funciones estructurales y de acabado a la vez.

térmico. Se emplean para muros exteriores e interiores de carga, tabiques, forjados entre plantas, de cubierta, vigas...

La generación de piezas a partir de laminados constituye el núcleo de la industrialización de la madera para construcción, y los paneles CLT son su máxima expresión porque permiten abordar la preparación de muros, paredes y suelos de componente estructural. Hasta ahora los laminados se empleaban mayoritariamente para generar vigas y pilares para generar la estructura y entonces acabar la construcción con paredes sin carga. Con todo, las vigas laminadas tienen muy recorrido para estructuras de grandes dimensiones, como los puentes o las cubiertas.

Adicionalmente a la creación de piezas laminadas, gran parte de la revolución de la madera constructiva proviene del *fingerjoint* (Figura 9). Es una técnica que permite la unión de dos piezas para obtener longitudes de hasta 16 m de longitud, en general en formato de viga o pilar. Esto permite utilizar madera de pequeño diámetro y con baja resistencia, sanearla y empalmarla y obtener un panel de alta calidad, y en general un mejor aprovechamiento de la madera.

Después de las innovaciones para conseguir aprovechar mejor la madera disponible y generar piezas con buenas propiedades constructivas, la construcción con madera se basa en innovaciones de diseño (arquitectura) y de prefabricación de las piezas constructivas con la automatización de procesos de dimensionado y la codificación y preparación del montaje a obra. Este proceso a fábrica reduce con creces el tiempo de construcción a obra y permite obtener unas óptimas calidades del producto final (Figura 10).

Usos constructivos actuales y futuros

Desde la revolución industrial y el desarrollo de las ciudades, la construcción con madera en Cataluña, de carácter todavía tradicional, se fue dejando de lado, puesto que parecía que era una cosa antigua. Pero en otras partes de Europa y del mundo se encontró un gran equilibrio entre todos los materiales constructivos, y la madera constructiva se desarrolló como un sector industrial más. Esto es la base de las diferencias

entre regiones respecto al desarrollo de la regulación normativa, de los estándares y de las certificaciones de calidad, mucho más profusa y detallada en los territorios con más presencia de la madera en la construcción. A pesar de todo, con la armonización de mercados de la UE (y en especial la marca de calidad CE y las normas EN), las diferencias se han ido reduciendo. Finalmente, en nuestra casa, nos hemos subido a este tren; no había otra salida si queríamos cumplir con los nuevos estándares de sostenibilidad y eficiencia energética.

Según datos del Gremio de la Madera y el Mueble de Cataluña, actualmente menos del 1% del material empleado en construcción es madera, pero la tendencia creciente es clara. Tanto promotores privados como administraciones públicas apuestan cada vez más por esta materia prima. La industrialización de la producción, con las diferentes técnicas mencionadas, y un mayor grado de conocimiento y formación del sector de la arquitectura es el motor del cambio.

Los nuevos modelos de contratación, más colaborativos, y las herramientas informáticas basadas en Building Information Modeling (BIM) también ayudan a mejorar y transformar el sector de la construcción. El uso de BIM permite centralizar toda la información del proyecto constructivo en un modelo digital 3D en tiempo real compartido entre todas las partes intervinientes en la obra para mejorar su eficiencia.

Los contratos colaborativos y la aplicación de la filosofía de trabajo Lean Construction (optimización de actividades de valor) son claves para la mejora del sector, puesto que permiten mejorar la coordinación y alineación entre los diferentes agentes que intervienen durante el proceso de diseño y construcción de una obra y aumentar así la calidad y la eficiencia.

Ya es de conocimiento general para la sociedad el uso de estructuras de entramado ligero y recientemente del CLT por la construcción de edificios, pero el nuevo hito a superar es el del uso de la madera local y la promoción de la bioeconomía como herramienta de equilibrio territorial. Las empresas de nuestro país relacionadas con la construcción en madera siempre hemos sabido de las ventajas del uso del material local, y ahora ha llegado la hora de demostrar todos estos grandes conocimientos tanto en la construcción como en el bosque. También hay que destacar iniciativas como las



Figura 11. Catforest es una marca de garantía para la comercialización de productos forestales de Cataluña, una iniciativa del sector para facilitar la identificación de los productos forestales locales en el mercado, con garantía de sostenibilidad, proximidad y calidad.

certificaciones de gestión forestal sostenible (PEFC y FSC principalmente), la marca de calidad Catforest (Figura 11) y las certificaciones de resistencia de las diferentes especies. Hay que aprovechar el rico potencial de los bosques y la industria catalana para construir un nuevo conjunto de usos y posibilidades en diferentes ámbitos como la madera para exterior, madera estructural, papel, aislamientos, combustible, bio-refinerías, y un largo etcétera.

La descarbonización de la economía en general y de la construcción en particular pasa por el uso de la madera en todos sus ámbitos posibles y a partir de la gestión forestal sostenible y adaptativa al cambio climático. Un buen punto de partida son las viviendas, allá donde pasamos la mayor parte de nuestra vida, pensando en casas saludables, la transpirabilidad, la higroscopicidad, la construcción en seco y en el *made in* Cataluña.

Conclusiones

Los bosques catalanes presentan actualmente un buen potencial para la producción de madera para construcción basada en procesos industrializados, principalmente a través de tres grandes factores. El primero, por la disponibilidad de recurso, debido a la gran superficie ocupada por bosques, cada vez más capitalizados, que presentan una gran diversidad de condiciones (especies, estructuras, accesibilidad...), entre las cuales aquellas que son adecuadas para la obtención de madera. El segundo factor es la productividad de estos bosques, especialmente si se aplica una gestión específica, que es adecuada para proveer de madera con los requerimientos necesarios. Y el tercero, no propio de los bosques pero sí del territorio, es



Figura 12. Objeto promocional del CTFC fabricado por Fustes Sebastià con madera laminada cruzada de pino negro del Pirineo.

la capacidad de implementar mejoras tecnológicas para adaptarse a las características propias del recurso local.

Pero las potencialidades no se quedan solo en los factores propios de los bosques o del sector forestal (y no mencionaremos las debilidades propias), sino que también hay grandes oportunidades y fortalezas derivadas de la situación y evolución socioeconómica general. La gestión forestal sostenible y multifuncional tiene muchos beneficios que aportar a la sociedad. En este sentido, destacaríamos la necesaria descarbonización de sectores clave como la construcción (*Figura 12*), un mayor grado de soberanía sobre el abastecimiento de materia prima, una mayor concienciación sobre la gobernanza ambiental de productos importados, y el impulso a la bioeconomía en entornos rurales para el equilibrio territorial, entre otros. El sector forestal catalán, desde la producción primaria hasta la transformación industrial, tiene que abordar el reto de manera decidida con todas las herramientas disponibles.

Referencias

- Brotons, L., Pou, N., Sainz de la Maza, P., Pont, S., Herrando, S., Bota, G., Villero, D., Garrabou, J., Anton, M., Gual, G., Recoder, L., Alcaraz, J., Pla, M., Pino, J. 2020. Estat de la Natura a Catalunya 2020. Generalitat de Catalunya, Barcelona. 56 p.
- Cervera, T., Garrabou, R., Tello, E. 2015. Política forestal y evolución de los bosques en Cataluña desde el siglo xix hasta la actualidad. *Investigaciones de Historia Económica – Economic History Research*, 11: 116–127
- Piqué, M., Vericat, P., Cervera, T., Baiges, T., Farriol, R. 2014. Tipologies forestals arbrades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya, Barcelona. 346 p.
- Vicente-Serrano, SM., Pascual, D., Pla, E., Zabalza, J., Borràs, G., Cantos, G., Savé, R., Biel, C., Funes, I. 2016. Historical trends in climate, land use and water demands. Deliverable 12. MEDACC.



JORNADA

6

Prevención de riesgos laborales y procedimientos de trabajo en la mecanización de los trabajos forestales

Oscar García Companys. Ingeniero de Montes. Escuela Agraria del Solsonès.

Daniel Tarrés Céspedes. Ingeniero de Montes. Escuela Agraria del Solsonès.

Miquel Bautista Lupiàñez. Grado medio en Aprovechamiento y Conservación del Medio Natural. Explotacions Forestals M Bautista SL.

García, O., Tarrés, D., Bautista, M. 2023. Prevención de riesgos laborales y procedimientos de trabajo en la mecanización de los trabajos forestales. A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 64-75.

Resumen

La mecanización de los trabajos forestales mediante el uso de maquinaria forestal pesada, como las procesadoras y autocargadores, es una tendencia al alza en Cataluña. En este artículo hacemos una breve recopilación, desde un enfoque eminentemente práctico, de consideraciones a tener en cuenta a nivel de prevención de riesgos laborales y de planificación operativa de los trabajos forestales mecanizados con el objetivo de aumentar la seguridad del personal implicado. Formación y especialización de los trabajadores/as forestales y otros profesionales del bosque; maquinaria con buen mantenimiento y que cumpla con los requerimientos legales; una buena planificación previa de los trabajos y procedimientos operativos claros; identificación de riesgos; plan de seguridad en cada centro de trabajo y coordinación entre operarios/as de maquinaria son aspectos clave desde un punto de vista de seguridad y salud y también desde un punto de vista de rendimientos de los trabajos.

Introducción

Puede definirse la mecanización forestal como el uso de máquinas en sustitución de la fuerza humana durante el desarrollo de los trabajos forestales. Refiriéndose sobre todo a máquinas automotrices como la procesadora y el autocargador (*Fotografía 1*).

La procesadora es una máquina diseñada para desarrollar trabajos de abatimiento, desramado y troceado de árboles mediante un cabezal procesador multifunción implementado en la punta de una grúa hidráulica. El autocargador está diseñado para desemboscar la madera cargándola, mediante el uso de una grúa hidráulica, sobre una plataforma situada detrás de la máquina.

La mecanización de los trabajos forestales no es un concepto nuevo en el sector. Es cierto que en los últimos años es un término que está en boca de la sociedad como posible solución a algunas de las problemáticas del sector forestal, como por ejemplo: la eliminación o reducción de algunos riesgos laborales para los trabajadores/as, o la viabilidad de ciertos trabajos forestales. Pero también hay que tener en cuenta que la mecanización de los trabajos implica nuevos procedimientos operativos que crean nuevos riesgos derivados de esta actividad laboral.

En este artículo se enumeran los elementos de seguridad que se encuentran en esta tipología de maquinaria, las recomendaciones de seguridad para su manejo y también en las operaciones de mantenimiento básico. Además, se pretende realizar un análisis de los protocolos y procedimientos de trabajo a seguir a la hora de ejecutar trabajos forestales de abatimiento, procesado y desembosque de madera utilizando la procesadora y el autocargador. Todo ello para garantizar la seguridad de los trabajadores/as sin perder productividad.

Consideraciones previas para la prevención de riesgos laborales en los trabajos forestales mecanizados¹

Antes de empezar los trabajos en el bosque con la procesadora o el autocargador, habrá que tener en cuenta una serie de consideraciones prácticas para la prevención de riesgos en esta tipología de trabajos. Algunas son de obligado cumplimiento y están sujetas a distintas normativas. Otros son una recomendación de los autores.



Fotografía 1. Autocargador John Deere 1510e (izquierda) y procesadora John Deere 1270e (derecha), tal y como se aprecia en la foto en algunas ocasiones es complicado garantizar las distancias de trabajo seguras. Autor: Miquel Bautista.

¹ Si está interesado en profundizar en estas consideraciones prácticas puede consultar el artículo de las Jornadas Técnicas Silvícolas del año 2022 "Eficiencia y seguridad en los trabajos forestales: aspectos prácticos de la prevención de riesgos laborales en el bosque" (García, O. 2022)

1 Apertura de centro de trabajo y coordinación de actividades empresariales (obligatorio)

Previamente al inicio de los trabajos es obligatorio que la empresa, con independencia de otras solitudes que deban efectuarse o de las autorizaciones que deban otorgarse por otras autoridades, comunique a la Dirección General de Relaciones Laborales, Trabajo Autónomo, Seguridad y Salud Laboral del Departamento de Empresa y Trabajo la apertura de un centro de trabajo.

Además, cuando en el mismo centro de trabajo se desarrollen actividades en las que intervengan trabajadores/as de dos o más empresas o trabajadores/as autónomos será necesario llevar a cabo la Coordinación de Actividades Empresariales (CAE) de acuerdo con lo que establece el Real decreto 171/2004, de 30 de enero, en materia de coordinación de actividades empresariales.

2 Definición de la Planificación Operativa (recomendación)

Es una planificación exhaustiva de los trabajos forestales y llevarla a cabo garantiza la productividad, seguridad y rendimiento. Es imprescindible que sea conocida por todos los trabajadores/as.

Habrá que describir los límites de la zona de trabajo y realizar un croquis identificando la planificación de desarrollo de los trabajos. Esta planificación debería incluir: las pistas de desembosque, las calles, la ubicación de los cargadores, la dirección de desembosque (y por tanto dirección de abatimiento prioritaria), los vehículos, la maquinaria... y posibles riesgos potenciales.

También se describirán los procedimientos de trabajo y se realizará una temporalización detallando posibles trabajos previos, por ejemplo: apertura de pistas de desembosque, calles, desbroce, etc. También debería incluir el método de marcado y/o criterio silvícola de corte, método de abatimiento, procesamiento de los árboles, eliminación de restos, método de desembosque, clasificación de la madera y transporte.

3 Evaluación de Riesgos y Plan de emergencia (obligatorio)

La evaluación de riesgos es un documento que se elabora después de llevar a cabo un

reconocimiento exhaustivo del puesto de trabajo, y determinar cuál será la planificación operativa para la ejecución de los trabajos. Será necesario identificar los riesgos específicos y las medidas tomadas para eliminarlos y/o minimizarlos, en la medida de lo posible.

El plan de emergencia debe ser un documento muy sencillo que se utilizará para informar de una posible emergencia que pueda surgir durante los trabajos. Este documento debe estar visible y disponible en todo momento a lo largo del aprovechamiento.

4 Señalización de los trabajos forestales (obligatorio)

Antes de empezar cualquier trabajo forestal debe señalarse correctamente la zona para alertar e informar claramente sobre riesgos específicos de la zona y las situaciones especiales a las personas ajenas a la obra, al personal operario de la actuación forestal y al personal afín.

5 Transporte de combustibles y provisión de carburante de las máquinas (obligatorio)

El transporte de combustibles hasta el lugar de trabajo debe cumplir con las especificaciones del Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), que fija para estos casos unas cantidades máximas permitidas de combustible. Como máximo se puede transportar 333 litros con garrafas homologadas (UN:1203) y deben estar correctamente señalizadas (etiqueta de peligro de las clases 3 + marca de peligroso para el medio ambiente).

6 Encuentro diario de personal implicado en un aprovechamiento forestal (recomendación)

Es una buena práctica dedicar un rato cada mañana, antes de empezar la jornada, a realizar un pequeño encuentro de todas las personas implicadas en los trabajos que se llevarán a cabo a lo largo de la jornada. El objetivo es comentar posibles cambios en la planificación operativa, realizar un breve recordatorio de la evaluación de riesgos y del plan de emergencia, y explicar las condiciones meteorológicas previstas.

7 Transporte de maquinaria hasta el bosque (obligatorio)

Las procesadoras y autocargadores habitualmente se transportan hasta el bosque con camiones plataforma o góndolas (*Fotografía 2*). Normalmente no pueden circular por carretera porque no es frecuente que estén matriculados o dispongan de permiso de circulación. El transporte, la carga y descarga deberá realizarse con seguridad cumpliendo toda la normativa vinculada (alturas, estiba de la carga, señalización lumínica, etc.).



Fotografía 2. Autocargador cargado sobre una góndola. Autor: Miquel Bautista.

Prevención de riesgos laborales en el manejo de procesadores y autocargadores

Las procesadoras y autocargadores son maquinaria forestal pesada y autopropulsada que permiten mecanizar las operaciones de tala, desramado, troceado y desembosque. El operario/a ya no manipula la máquina a pie de árbol, sino que lo hace, en la mayor parte del tiempo, desde una cabina de conducción. Son una alternativa a los trabajos forestales "tradicionales" (motosierra y desembosque con tractor y cabrestante) pero están condicionadas por algunos factores limitantes como, por ejemplo: la pendiente (<40%) y el tipo de suelo, la masa remanente, el volumen aprovechable o la obligatoriedad de establecer calles de desembosque dentro de la masa

Riesgos asociados a los trabajos con maquinaria forestal pesada

Los puestos de trabajo y las operaciones que se realizan con maquinaria forestal pesada son muy variadas, lo cual provoca que las personas operarias estén sometidas a riesgos muy distintos:

Tabla 1. Riesgos asociados a los trabajos con maquinaria forestal pesada.

- Cortes con objetos o herramientas.
- Pinchazos y cortes.
- Proyección de partículas, fragmentos y objetos.
- Proyección de fluidos a presión.
- Atrapamiento por o entre objetos.
- Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos.
- Atropellos y autoatropellos.
- Golpes y choques contra objetos móviles o inmóviles.
- Incendio y explosión
- Exposición a temperaturas ambientales extremas.
- Ruido y/o vibraciones.
- Contactos con seres vivos.
- Contacto con sustancias cáusticas y corrosivas.
- Fatiga física y sobreesfuerzos por: posición, desplazamiento, esfuerzo y/o manejo de cargas.
- Caída de personas al mismo y distinto nivel.
- Contactos térmicos.
- Contactos eléctricos.

Condiciones mínimas legales y de seguridad de la maquinaria

a) Normativa:

El artículo 3 del Reglamento (UE) núm. 167/2013 define "tractor" como "todo vehículo agrícola o forestal de ruedas u orugas, de motor, con al menos dos ejes y una velocidad máxima de fabricación igual o superior a 6 km/h, cuya función resida fundamentalmente en su potencia de tracción y que esté especialmente concebido para arrastrar, empujar, transportar y accionar a determinados equipos intercambiables destinados a

usos agrícolas o forestales, o arrastrar remolques o equipos agrícolas o forestales; puede ser adaptado para transportar cargas en trabajos agrícolas o forestales y estar equipado con uno o varios asientos de pasajeros". Así, según la normativa, un autocargador o una procesadora están considerados como un tractor a nivel normativo.

El apartado 5 del artículo 3 del Real decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, establece que el empresario adoptará las medidas necesarias para que, mediante un adecuado mantenimiento, los equipos de trabajo se conserven durante todo el tiempo de utilización en unas condiciones adecuadas previstas en la normativa. En el apartado 2 del artículo 4 establece que el empresario adoptará las medidas necesarias para que aquellos equipos de trabajo, sometidos a influencias susceptibles de ocasionar deterioros que puedan generar situaciones peligrosas, estén sujetos a comprobaciones y, en su caso, pruebas de carácter periódico. El objetivo es asegurar el cumplimiento de las disposiciones de seguridad y salud y prevenir estos deterioros.

En el caso de los tractores, estas comprobaciones serán principalmente las realizadas con ocasión de la inspección técnica de vehículos. Tal y como establece el Real Decreto 920/2017, por el que se regula la inspección técnica de vehículos, la frecuencia de la inspección técnica de los tractores de ruedas agrícolas o forestales, con una velocidad máxima de fabricación inferior a 40 km/h es la siguiente: Hasta 8 años: exento, de 8 a 16 años: bienal y más de 16 años: anual. Los resultados de las comprobaciones deberán documentarse y estar a disposición de la autoridad laboral.

Como cualquier otro vehículo de motor, para poder conducir un vehículo especial agrícola es necesario que el conductor esté autorizado mediante el correspondiente permiso o licencia de conducción. Asimismo, para circular por las vías públicas, los conductores están obligados a estar en posesión y llevar los siguientes documentos: La licencia o permiso de circulación, la Tarjeta de Inspección Técnica (ITV) y un seguro obligatorio.

Además de estos documentos, los vehículos especiales agrícolas que superen a las masas y las dimensiones máximas autorizadas para los vehículos ordinarios necesitan una autorización especial.

Toda la maquinaria que esté fabricada a partir del año 1995 debe disponer de una declaración CE de conformidad (marca CE). El manual de instrucciones siempre debe estar disponible en la máquina y debe estar en un idioma que entienda la persona operaria. También debe cumplir con los requisitos fijados por el Real decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de la maquinaria por parte del personal. En el caso de los equipos fabricados con anterioridad al año 1995 deben disponer de un estudio de adecuación emitido por un profesional técnico competente.

El Real Decreto 1215/1997 obliga para todas las máquinas que:

- Los dispositivos para accionar la maquinaria serán claramente visibles. Estarán adecuadamente señalizadas y ubicadas fuera de zonas peligrosas donde no sea factible su manipulación involuntaria.
- Las zonas de la máquina (elementos móviles, engranajes...) donde se puedan producir enganches y/o atrapamientos deberán estar protegidas por dispositivos o mecanismos de protección.

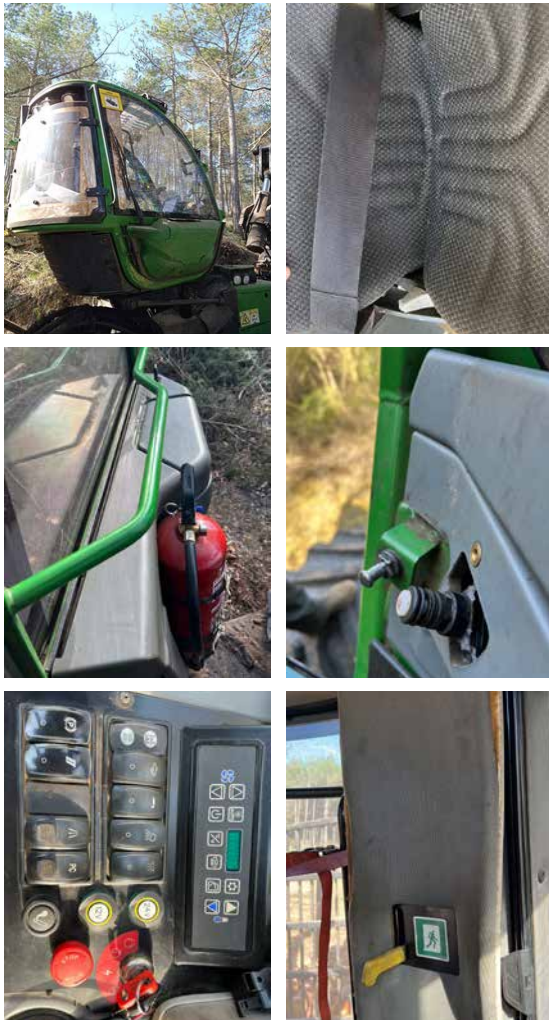
Además, la maquinaria forestal pesada debería incorporar los siguientes elementos y dispositivos de seguridad (*Fotografía 3*):

- Las máquinas deben contar con dispositivos de parada de emergencia como: un interruptor de parada claramente visible y señalizado, y situado fuera de zonas peligrosas donde no sea factible su manipulación involuntaria. También debe incluir un interruptor de seguridad para la puerta que evite que la máquina pueda trabajar con la puerta abierta.
- Las cabinas deben contar obligatoriamente con estructuras de protección ROPS (protección volcada), FOPS (caída objetos) y OPS (penetración de objetos) según norma ISO 8084.
- La cabina debe incluir una salida de emergencia con apertura desde el exterior. Ésta debe estar siempre libre y no se puede obstaculizar ni fijar.
- Asiento con cinturón de seguridad.
- Extintor en la cabina accesible para el operario y otro extintor exterior (opcional).
- Señalización acústica de marcha atrás.
- Sistema de iluminación exterior adecuado.
- Pictogramas que señalen los elementos o zonas peligrosas de la maquinaria.

- Asideros que faciliten el acceso a la cabina u otras zonas de la máquina y superficies antideslizantes en los escalones de acceso a la cabina y en las zonas de mantenimiento de la máquina.

Las máquinas deben tener un equipo de primeros auxilios (botiquín) y es muy recomendable disponer de equipos de comunicación.

Normativamente debe tenerse en cuenta que, cualquier reforma de importancia en el vehículo que sea posterior a la fabricación (modificación, sustitución, incorporación o supresión), deberá regularizarse ante el órgano de la administración competente en materia de industria.



Fotografía 3. Elementos de seguridad de una máquina pesada forestal, de izquierda a derecha y de arriba a abajo: cabina con sistemas ROPS, OPS y FOPS; extintor y asideros; interruptor de seguridad por la puerta; asientos con cinturón de seguridad; paradero de emergencia y salida de emergencia.

Autor: Daniel Tarrés.

Uso de los Equipos de Protección Individual

En el caso de operador/as de procesadoras forestales o autocargadores habrá que utilizar, según el caso, los siguientes Equipos de Protección Individual (EPI): ropa de trabajo cómoda, ajustada y de alta visibilidad para garantizar que el maquinista sea visto por otros operarios/as cuando abandone la cabina; calzado de seguridad con suela antideslizante, impermeable y con puntera reforzada. (UNE-EN 345); casco y protectores auditivos cuando sea necesario (UNE EN 397: 1995); guantes resistentes a aceites hidráulicos para realizar las operaciones de mantenimiento (UNE-EN 374); gafas de protección ocular para realizar, por ejemplo, el mantenimiento de los dispositivos hidráulicos (UNE-EN 166:2002).

Mantenimiento preventivo

Para reducir el riesgo de accidente es básico llevar a cabo el mantenimiento preventivo siguiendo las recomendaciones del fabricante en el manual de instrucciones en cuanto a puntos de revisión, periodicidad o reposiciones. De forma general el mantenimiento se llevará a cabo con el motor apagado y con la máquina estacionada en un lugar plano y estable, con la grúa en el suelo, la dirección bloqueada, las llaves fuera del contacto, el ordenador apagado y el freno de estacionamiento accionado. Si hay dudas sobre el funcionamiento de los frenos, ésta debe calzarse.

Recomendaciones para el manejo seguro de autocargadores y procesadoras

Es importante recordar que los trabajos con maquinaria pesada deben llevarse a cabo por profesionales con formación teórica y práctica específica en este puesto de trabajo.

a) Normas generales

- Nunca debe haber terceras personas en el área de trabajo de las máquinas. En las procesadoras existen variaciones según los fabricantes, pero se ha fijado una distancia de seguridad mínima de 70 metros. En el caso de autocargadores, se toma como norma

general la longitud de la grúa más dos veces la altura de los árboles o troncos que se estén manipulando como distancia de seguridad.

- _ Si una procesadora y un autocargador trabajan conjuntamente, debe mantenerse una distancia de separación entre ambos de al menos 50 metros.
- _ Se deben tener en cuenta las condiciones meteorológicas y del terreno. Trabajar en días de fuerte viento no es recomendable ni cuando el terreno está muy húmedo para evitar daños de erosión (*Fotografía 4*).



Fotografía 4. Autocargador atrapado dentro del barro. Autor: Miquel Bautista.

b) Ergonomía por el manejo seguro de las máquinas

- _ Acceso y salida de la cabina: se subirá y bajará siempre de cara a la cabina por las escaleras y plataformas de acceso, utilizando los asideros.
- _ Cuando se abandone la cabina se detendrá la máquina y el motor, se cortará la electricidad y se quitarán las llaves del contacto.
- _ Dentro de la cabina se debe:
 - Regular y adaptar el asiento, el apoyabrazos y los paneles.
 - Mantener los retrovisores en buen estado y perfectamente regulados
 - Trabajar con las puertas y ventanas de la cabina cerradas. La temperatura se mantendrá más estable, se evita la inhalación de pulso y se consigue la máxima insonorización sin superar los 85 dB ya que de lo contrario es obligatorio utilizar protectores auditivos.

c) Manejo seguro de la maquinaria en los desplazamientos.

- _ En la cabina sólo puede acudir el operador de la máquina.
- _ Con el objetivo de desplazarse por el monte de forma segura, se adaptará la velocidad y la conducción a las características de la zona de trabajo, evitando circular sobre montones de restos, ramas o piedras.
- _ Se comprobará periódicamente las señales de alarma de los inclinómetros.
- _ En terrenos con pendiente, siempre que sea posible, los desplazamientos se realizarán por la línea de máxima pendiente y se procurará no girar de forma brusca con la máquina. Se debe tener especial cuidado con los giros bruscos y con las conexiones entre pistas y calles de desembosque.
- _ Si no es posible la conducción en línea de máxima pendiente, y el desplazamiento debe realizarse de forma transversal por la vertiente, hay que tener en cuenta que los ángulos de vuelco varían con la carga. A medida que aumenta la carga, disminuye el ángulo de vuelco. Si la máquina dispone de grúa, se extenderá parcialmente hacia la parte superior, buscando mayor estabilidad. El riesgo de vuelco longitudinal es menor, aunque existe, y en caso de que se produzca el accidente siempre suele ser mayor.

d) Trabajo con seguridad junto a las líneas eléctricas

- _ Se señalizará la zona de trabajo segura y se indicarán las rutas seguras para la maquinaria, teniendo en cuenta que la distancia de seguridad a las líneas eléctricas irá a función de la tensión nominal de la línea. Por norma general, no debe utilizarse la grúa a menos de 15 m junto a líneas de alta tensión y de 9 m junto a líneas de media tensión.
- _ Se reducirá la velocidad de la maquinaria y de la grúa.
- _ Se extremarán las precauciones en tramos con mucha distancia entre palos, ya que el viento puede mover los cables y variar la distancia entre nosotros y la línea. Se debe tener

especial cuidado en los desplazamientos sobre terreno irregular, ya que existe la posibilidad de que la maquinaria realice algún movimiento brusco y entre en contacto con la línea.

- En caso de contacto accidental de la grúa, grapa del autocargador o cabezal procesador con la línea eléctrica el operario/a debe quedarse en el asiento (si es posible) y pedir auxilio con el teléfono móvil o con la emisora. Por lo general, el operario/a está más seguro dentro de la máquina. El peligro es mayor si alguien está en contacto con el suelo y la máquina a la vez. Seguidamente, alguna persona del exterior debería comprobar que la grúa u otra parte de la máquina no estén enganchadas al cable de la línea eléctrica. En caso de que sólo estén en contacto, el operador puede intentar liberarse y dar marcha atrás con cuidado o bajar la grúa, siempre siguiendo las indicaciones de la persona en el exterior. En caso de tener que abandonar la máquina, se hará saltando con los pies juntos o de forma que un solo pie toque el suelo ya que el campo de tensión del suelo puede crear una tensión mortal entre las piernas. Por último, se notificará el accidente al responsable de la línea eléctrica y no se dejará la máquina sin vigilancia ni se permitirá subir hasta que el responsable de la línea asegure que ya no existe peligro.

e) Manejo seguro en las operaciones de carga y descarga (autocargador)

- Durante las operaciones de carga y descarga se pondrá especial atención en la zona de trabajo de la grúa. Debe asegurarse que no haya nadie en esta zona antes de empezar a trabajar.
- Se procurará tener una visión completa del movimiento de la grúa desde el puesto de mando.
- Antes de iniciar la tarea, se asegurará tener la máquina totalmente parada en una zona estable, con la palanca de cambio en posición de punto muerto y el freno de mano trabado.
- La grapa de la grúa debe abrazar los rollos por completo y de por medio, para evitar un movimiento pendular de la carga que podría desestabilizar el conjunto.
- Nunca se dejará la grúa en posición elevada con la carga suspendida.

- Cuando tenga que cargar los rollos alejados de la grúa, se extenderá el brazo al máximo y se arrastrará la madera para acercarla antes de elevarla con la grapa. Así se reduce el riesgo de vuelco. Se tendrá siempre en cuenta los límites de carga máxima por las diferentes longitudes de la grúa.
- Durante la carga, se distribuirán los rollos de forma equilibrada sin superar el límite superior de la caja (*Fotografía 5*). Una vez terminada la tarea de carga, se dejará la grapa bloqueada en la madera.



Fotografía 5. Autocargador cargando madera larga longitudinalmente. Autor: Miquel Bautista.

Procedimiento operativo de los trabajos forestales mecanizados

Tala y procesado de árboles con procesadora

La procesadora es una máquina forestal de unas 20 toneladas (*Fotografía 6*) diseñada para desarrollar trabajos de abatimiento, desramado y troceado de árboles mediante un cabezal procesador multifunción implementado en la punta de una grúa hidráulica. El cabezal es un elemento pesado que añadido a la longitud del brazo de la grúa (entre 7 y 9 metros) y al peso del árbol abatido supone un elevado riesgo de

vuelco que se debe tener muy en cuenta cuando se trabaja en pendiente. Las procesadoras de ruedas no deberían trabajar en pendientes de más del 35% y las de cadenas con cabina auto-nivelante hasta el 40%. Igualmente, a partir del 20-25% de pendiente el rendimiento de la grúa se reduce y aumentan los problemas de falta de estabilidad por vuelco lateral.



Fotografía 6. Procesadora de cadenas Neuson Forest 264HVT (superior) y procesadora de ruedas (6x6) John Deere 1270e (inferior). Autor: Web de Neuson Forest y Daniel Tarrés.

En zonas con pendiente se extremarán las precauciones y en caso de tener que trabajar se utilizará, si es posible, una máquina con el conjunto cabina-grúa auto nivelable. En esta situación se estacionará siempre en línea de máxima pendiente y se respetará en todo momento la capacidad del cabezal, intentando no cortar árboles de dimensiones superiores a las recomendadas por el fabricante del cabezal.

Siempre que sea posible el desplazamiento por las calles será en sentido de máxima pendiente. En caso de que sea necesario desplazarse fuera de las calles también se hará en el mismo sentido y manteniendo el brazo pegado a la máquina. Cuando la única opción sea desplazarse fuera de la calle por la curva de nivel, se extenderá el brazo con el cabezal hacia la parte superior de la pendiente, para incrementar la estabilidad de la máquina. Igualmente, siempre debe estar atento a las señales de alarma de los inclinómetros.

Antes de empezar un aprovechamiento con procesadora habrá que planificar los trabajos de forma minuciosa (Definición de la Planificación Operativa y Evaluación de Riesgos). Si es posible, se escogerá la procesadora y el cabezal que mejor se adapten al puesto de trabajo y al diámetro de los árboles a aprovechar. Según el estado del terreno montaremos tracks (oruga) en las ruedas de la procesadora para permitir un desplazamiento seguro incrementando la tracción y reduciendo el riesgo de accidente.

Lo primero a tener en cuenta es que la procesadora trabaja por calles de desembosque (*Fotografía 7*) y está dotada de un cabezal multifunción, instalado en la punta de una grúa, que permite cortar los árboles (alejados hasta la distancia máxima que permite la grúa), trasladarlos hasta el punto de apilado, junto a la calle de desembosque, derramados sobre la misma calle y trocear, clasificar y apilar la madera junto a las calles.



Fotografía 7. Calles en un aclareo de mejora. Autor: Miquel Bautista.

El diseño de las calles de desembosque es básico para evitar la compactación del suelo forestal y optimizar su ejecución de los trabajos forestales. Prioritariamente se realizarán en máxima pendiente, de ancho variable 4 - 5 m, y la separación entre ellas debe ser como máximo el doble del alcance de la grúa con el cabezal (en terreno llano). Este diseño hace que, una vez la procesadora está en la calle de desembosque, el cabezal pueda llegar hasta los árboles que se deban cortar. Se ha de tener muy en cuenta que hay que habilitar accesos a estas desde las pistas y que el ángulo debe ser suficiente para facilitar su movilidad (unos 130°). Las calles se reutilizarán cada vez que se lleven a cabo aprovechamientos. Éstos pueden ser empleados por distinto tipo de maquinaria así que deben ser diseñados pensando con la máquina más "restrictiva" que los utilizará.

El procedimiento de trabajo de corte y procesamiento del tronco con procesadora es el siguiente:

- _ La procesadora debe ubicarse cerca del árbol a cortar (distancia de la grúa) y con el cabezal se coge el árbol por el lado opuesto a la dirección de abatimiento escogido. Se baja el cabezal hasta la altura de la cepa y se realiza el corte.
- _ Una vez cortado el árbol se tumba y se comienza el desramado y corta de la copa (hasta el diámetro mínimo comercial). Los residuos de la actuación se dejan sobre la calle para minimizar la compactación del suelo durante el paso de la maquinaria.
- _ Cuando se tiene el tronco desramado habitualmente se lleva a cabo el troceado (el tamaño de las trozas es variable en función del producto), el clasificado y el apilado de las trozas junto a las calles. Las pilas se pueden dejar a uno o ambos lados de la calle en función del tipo de corte, cortado por todas partes o no. Se apilan las trozas evitando que rueden pendiente abajo y se trocean teniendo en cuenta el sistema de desembosque que se utilice. Se evita procesar los árboles en la dirección de la cabina o de las personas y se asegura que no haya nadie dentro de la zona de peligro de la procesadora (70 metros).

Los rendimientos de una procesadora son variables en función de múltiples variables (pendiente, tipos de corte, especie...) pero éstos oscilan entre 100-120 toneladas al jornal en cortas finales y entre 40-60 toneladas en aclareo.

Desembosque con autocargador

El autocargador es un tractor forestal de unas 15 toneladas de peso, diseñado para desemboscar la madera cargándola (y descargándola) sobre una plataforma situada en el semibastidor trasero de la máquina por medio de una grúa hidráulica incluida en la misma máquina.

Los autocargadores presentan más limitantes a la hora de trabajar que las procesadoras. Hay que tener en cuenta que una vez cargados su peso puede alcanzar las 25 toneladas. Por ejemplo, no suelen trabajar de forma eficiente y segura con pendientes superiores al 30% (desplazándose en máxima pendiente), y de hecho con pendientes del 20% se trabajará de forma preferente en bajada.

La estabilidad del autocargador también se ve comprometida por la existencia de obstáculos (piedras, cepas...) que hacen variar el centro de gravedad de la máquina y pueden desestabilizarla. Las diferentes marcas han trabajado en aumentar la estabilidad jugando con los tamaños de la máquina (máquinas más anchas y bajas = más estables) o por ejemplo en el desarrollo de ejes de rodadura de formato boogie.

El autocargador es menos estable cuanto más se carga, puesto que su centro de gravedad se eleva. Por este motivo, se empezará el desembosque por aquellas zonas más delicadas desplazándose por ellas con el vehículo vacío o con muy poca carga. También hay que tener muy en cuenta el posible movimiento de la madera cuando vayamos a media carga, ya que puede desestabilizar la máquina.

El autocargador, al igual que la procesadora, trabaja desplazándose por dentro de la masa forestal a través de las calles. El maquinista conduce la máquina hasta la primera pila, o pilas, de madera, la estaciona en una posición estable, acciona la grúa y carga sobre la caja la pila, o pilas, que le permita la longitud del brazo de la grúa. Luego se vuelve a poner en movimiento para desplazarse hasta la siguiente pila o pilas. Si la madera es corta se irá cargando transversalmente en la caja y, si es madera larga, la carga se irá realizando longitudinalmente. Una vez completada la capacidad de carga de la máquina ésta se desplaza hasta el cargador, donde se lleva a cabo la descarga empleando de nuevo la grúa hidráulica.

En terrenos con pendiente y con calles que sólo tengan la salida por un lado, se entra en la calle con la caja vacía, marcha atrás y de bajada cuando el acceso sea por la parte más alta. Por el contrario, cuando la entrada sea por la parte inferior de la pendiente se entrará marcha adelante y de subida.

Hay que tener en cuenta que el número de ciclos (desplazamiento-carga-desplazamiento) depende básicamente de la longitud de la grúa, siendo los autocargadores con la grúa más larga las que permiten cargar más madera desde un mismo punto.

Este sistema de desembosque implica que previamente la madera debe estar apilada, sino el rendimiento baja drásticamente. Habitualmente las pilas se ubican junto a las calles, perpendicular a la pendiente del terreno. Pero si se dispone de un autocargador con una grúa rápida y suficientemente larga, pocos productos clasificados y facilidad de movilidad por la masa, se podría plantear formar pilas por toda el área de aprovechamiento y así ahorrar tiempo de trabajo con la procesadora (máquina más cara). Para optimizar el proceso de carga, las pilas deben ser un múltiplo de la capacidad de carga que tenga la grapa.

Muchas veces es habitual que las pilas de madera se hagan diferenciando según los tipos de productos para la industria (clasificando), y en estos casos los autocargadores cargarán un único tipo de producto en cada ciclo. Hay que tener en cuenta que cuantos más productos diferenciamos más bajará el rendimiento del desembosque.

El rendimiento de los autocargadores varían en función de su capacidad de carga, tamaño de la grúa y tipos de corte, pero se puede fijar un rendimiento aproximado entre 100 - 200 toneladas al día. Esto implica que habrá que planificar unos cargadores suficientemente grandes y que se vayan vaciando de forma constante.

Conclusiones

Cada vez es más habitual la mecanización de trabajos forestales en Cataluña mediante el uso de maquinaria forestal pesada como las procesadoras forestales y los autocargadores.

Esta maquinaria aporta muchas ventajas a nivel de seguridad y salud de los trabajadores forestales, pero también es cierto que con su uso aparecen nuevos riesgos a tener muy en cuenta.

Operarios/as formados y altamente especializados, maquinaria en condiciones, una muy buena planificación previa de los trabajos, identificación de riesgos, plan de seguridad, coordinación entre operarios/as de maquinaria, trabajadores/as forestales y otros profesionales del bosque y unos procedimientos operativos claros son vitales desde un punto de vista de seguridad y salud y también de un punto de vista de viabilidad y rendimiento de los trabajos.

En un sector, el forestal, donde tradicionalmente ha habido muy poca conciencia del riesgo y muy pocos hábitos preventivos y donde habitualmente los trabajadores han desarrollado su trabajo en condiciones poco ergonómicas y saludables, es complicado que de un día para otro se lleven a cabo cambios a nivel preventivo. Sin embargo, este cambio de mentalidad del sector es necesario por su dignificación.

La mecanización de los trabajos forestales requiere una formación altamente especializada de los operarios de la maquinaria, metodologías y procedimientos operativos estandarizados que minimicen los riesgos de los trabajos y aumenten la productividad.

Las diferentes consideraciones sobre prevención de riesgos y planificación de los trabajos forestales mecanizados que se recogen en este artículo quieren ser una aportación a la seguridad de los operarios/as y, por tanto, una aportación a la productividad y la dignificación del sector.

Agradecimientos

Es necesario agradecer a la empresa Explotaciones Forestales M Bautista SL y en especial a Miquel Bautista por su colaboración y buena predisposición a la hora de organizar la jornada y elaborar el presente artículo.



JORNADA

7

La mejora genética forestal en Cataluña: los fundamentos de la plantación forestal

Neus Aletà Soler. Dra. Ingeniera Agrónoma. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias.

Rut Sánchez Bragao. Dra. Biología Vegetal. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

Miquel Segarra Trepal. Ingeniero de Montes. Jefe del Área de Espacios Naturales y Recursos Genéticos Forestales de Forestal Catalana SA.

Jaime Coello Gómez. Dr. Ingeniero de Montes. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

Joan Abel Bachs. Ingeniero de Montes. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias.

Anna Teixidó Compañó. Ingeniera de Montes. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

Aletà, N., Sánchez, R., Segarra, M., Coello, J., Abel, J., Teixidó, A. 2023.

La mejora genética forestal en Cataluña: los fundamentos de la plantación forestal.

A: Tusell, JM., Cases, G., Busquets, E. (eds.). 40 Jornadas Técnicas Silvícolas Emili Garolera. Pp: 76-87.

Resumen

Los programas de mejora genética forestal suelen desarrollarse en especies con interés económico o ambiental en una determinada área geográfica para responder a las demandas del sector. Cada vez más, uno de los criterios de selección es adaptar las producciones a los nuevos escenarios, sobre todo climáticos, a los que nos dirigimos. Se trata pues de utilizar la biodiversidad existente en aquel género o especie para seleccionar materiales con buenas respuestas en el presente, pero también de preservarla en el marco de necesidades adaptativas futuras, a menudo poco predecibles. En esta jornada se presentaron las actividades de mejora genética forestal en marcha en Cataluña, con especial énfasis en especies productoras de madera de calidad y frutales forestales de alto valor (piñero y castaño). El objetivo final es que llegue al mercado de viveristas material forestal de reproducción (MFR) de las categorías Calificado y Controlado con criterios de uso bien definidos.

Introducción

La superficie de plantaciones forestales y bosques plantados a nivel mundial se ha duplicado en los últimos 15 años y, según datos de 2020, supera ya los 300 millones de hectáreas y va *in crescendo* (FAO, 2020). La mejora genética forestal (MGF) se corresponde tradicionalmente con las actividades que se desarrollan en algunas especies para incrementar la disponibilidad de productos forestales con interés comercial: madera, pasta de papel, frutos, resina. Estos fueron los objetivos por los que se desarrolló la genética forestal en especies como el eucalipto, los chopos, algunos pinos, píceas y abetos, etc., y se constata que no dejan de serlo todavía hoy en día por algunas de las especies más utilizadas industrialmente. Más recientemente, la MGF ha ido incluyendo otros objetivos de índole ambiental, como incrementar la absorción de carbono, absorber partículas en suspensión, o mejorar la sanidad de las masas forestales. Actualmente, la emergencia climática es la que marca las nuevas prioridades de mejora, ya que los recursos de adaptación natural de las especies (mutación, migración, hibridación, etc.) son demasiado lentos para poder afrontar la celeridad de los cambios ambientales previstos. Así, el primer objetivo de mejora, para cualquier especie forestal, es favorecer su capacidad de adaptación, considerando como principales características la plasticidad adaptativa y eficiencia en el uso del agua.

Las necesidades de mejora de una especie están definidas por las expectativas que una determinada sociedad tiene de ella, y pueden ser muy distintas según la zona del mundo. Por tanto, cada especie/grupo de especies tendrán unas necesidades particulares que tendrán que quedar bien definidas, desde todos los puntos de vista, a la hora de priorizar los caracteres de mejora.

Los primeros pasos de cualquier Programa de MGF consisten en determinar la diversidad genética que existe en la especie en cuestión en la zona climática, país o ecosistema donde se desea trabajar. Muchas de las especies con interés forestal en Cataluña han sido ampliamente estudiadas en Europa, y por tanto acceder a los trabajos existentes es el paso previo. Esto supone recorrer y valorar los diferentes resultados científicos y conocer el comportamiento reproductivo de la especie, sin olvidar las directrices marcadas, por su

conservación y caracterización, de organismos como EUFORGEN (European Forest Genetic Programme), y en el caso de Cataluña del DACC (Departamento Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural) y del MITECO (Ministerio de Transición Ecológica).

Un primer escollo que superar para poner en marcha un Programa de Mejora de una especie es tener al alcance los adecuados Recursos Fitogenéticos (RFGs), a menudo éste es un paso difícil de dar con seguridad. Los materiales de partida (procedencias, progenies o genotipos) tendrán que mostrar, directa o indirectamente, los caracteres deseados, de modo que por hibridación (natural o dirigida) se consiguen expresar en los descendientes. La obtención de Materiales Forestales de Reproducción (MFR) de las características buscadas serán, pues, el resultado de todo el proceso de selección, pero garantizar su producción estable supone instalar las combinaciones de genotipos escogidos y diseñar sus cruces formando lo que denominamos Material de Base (MB). Si las parcelas productoras de MFR se localizan dentro de las propias masas forestales de la especie, entonces se tendrá acotado un MB *in situ*, donde la ganancia de mejora será mínima, pero que conseguirá mantener las características de la población local. Si los que se instalan son plantaciones donde se diseñan los cruces que permitirán conseguir un determinado MFR, tenemos los MB *ex situ*; en este caso se acelera el logro de una ganancia genética para los caracteres elegidos, pero que dependerá del tipo de MB instalado. Para las más de 10 especies arbóreas (especificadas más adelante en el texto) en las que se trabaja en el Programa de MGF de Cataluña, liderado por Forestal Catalana, IRTA y CTFC, actualmente sólo se contempla la producción de MB *ex situ*.

Las directrices básicas han sido las mismas para todas las especies, pero con los años se han ido mejorando las metodologías de caracterización, introduciendo nuevas según los requerimientos de cada especie. Los resultados de un programa de mejora son MFR en forma de: vástagos, semillas o genotipos clonales. Cada uno de estos productos finales irá acompañado de criterios o limitaciones de uso. Además, para su comercialización, el MB de dónde proceden deberá estar debidamente inscrito en el Catálogo Nacional de Materiales de Base (CNMB del MITECO), y su producción inspeccionada cada año por la autoridad competente del DACC, para ser utilizado por los gestores del territorio con garantías de repetibilidad.

El esquema de selección establecido por Forestal Catalana e IRTA es el siguiente (Figura 1).

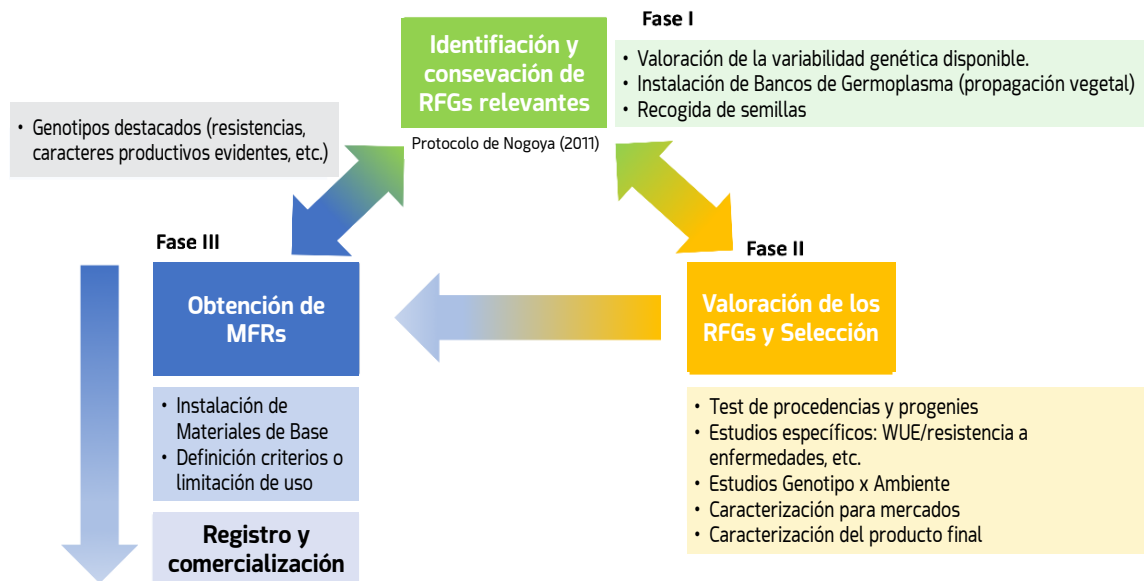


Figura 1. Fases de un Programa MGF en una especie.

Tabla 1. Aspectos previos por considerar para iniciar las actividades de MGF en una especie.

Especies contempladas en el plan actual vigente hasta 2024

Espècie	Estado conocimiento científico	MB disponible	Coste de la actividad de mejora	Impacto en el sector	Beneficio ambiental	Interés económico
<i>Abies alba</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Arbutus unedo</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Castanea sativa</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Celtis australis</i> *	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Corylus avellana</i> * ¹	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Fagus sylvatica</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Fraxinus excelsior</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Juglans Regia</i> ¹	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Juglans nigra</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Juglans xintermedia</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Pinus pinea</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Pinus pinaster</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Pinus halepensis</i>	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
<i>Pinus uncinata</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Prunus avium</i>	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Pyrus spp</i> *	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
<i>Sorbus domestica</i> *	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

elevado
medio
bajo

¹Existen Bancos de Germoplasma (BG) de conservación declarados de la especie en Cataluña. *Especie no contemplada en el RD289/2003 de comercialización de los MFR. Por las especies listadas a la izquierda de color azul se ha iniciado el estudio en 2023, las especies marcadas de color gris se prevé su estudio en 2024. El resto de las especies se encuentran en estudio actualmente.

Los MB establecidos *ex situ* pueden ser: i) Productores de semillas o vástagos, como un Huerto semilla (HS), es decir, un conjunto de genotipos seleccionados que se polinizan libremente entre ellos; y los Progenitores de Familia (PF), es decir, un genitor seleccionado por las características de su descendencia y ii) Productores de partes vegetativas, tales como Pies Madre (PM) para abastecer de púas, yemas o varillas para injertar o para realizar propagación *in vitro*.

Los programas y actividades de mejora en marcha en Cataluña

Las actividades de MGF en las que están trabajando Forestal Catalana, IRTA y CTFC buscan

avanzar en el desarrollo de MB de un conjunto de especies forestales (mencionadas más adelante) con algún tipo de interés en Cataluña (madera, fruto, biodiversidad, aspectos sanitarios, etc.). Para abordar estos retos en todos los casos se ha partido de los conocimientos científico-técnicos disponibles de cada especie (Tabla 1), a fin de establecer objetivos alcanzables de mejora en aquella especie para los intereses de la zona donde irán destinados los MFR seleccionados. Es muy importante resaltar que no existe una calidad genética absoluta de un MFR sino que un MFR se elige para tener una genética adecuada a los objetivos marcados al realizar una plantación, reforestación, restauración, etc.

Se detalla a continuación los principales objetivos de MGF de las principales especies con las que se está trabajando en Cataluña (Figura 2):

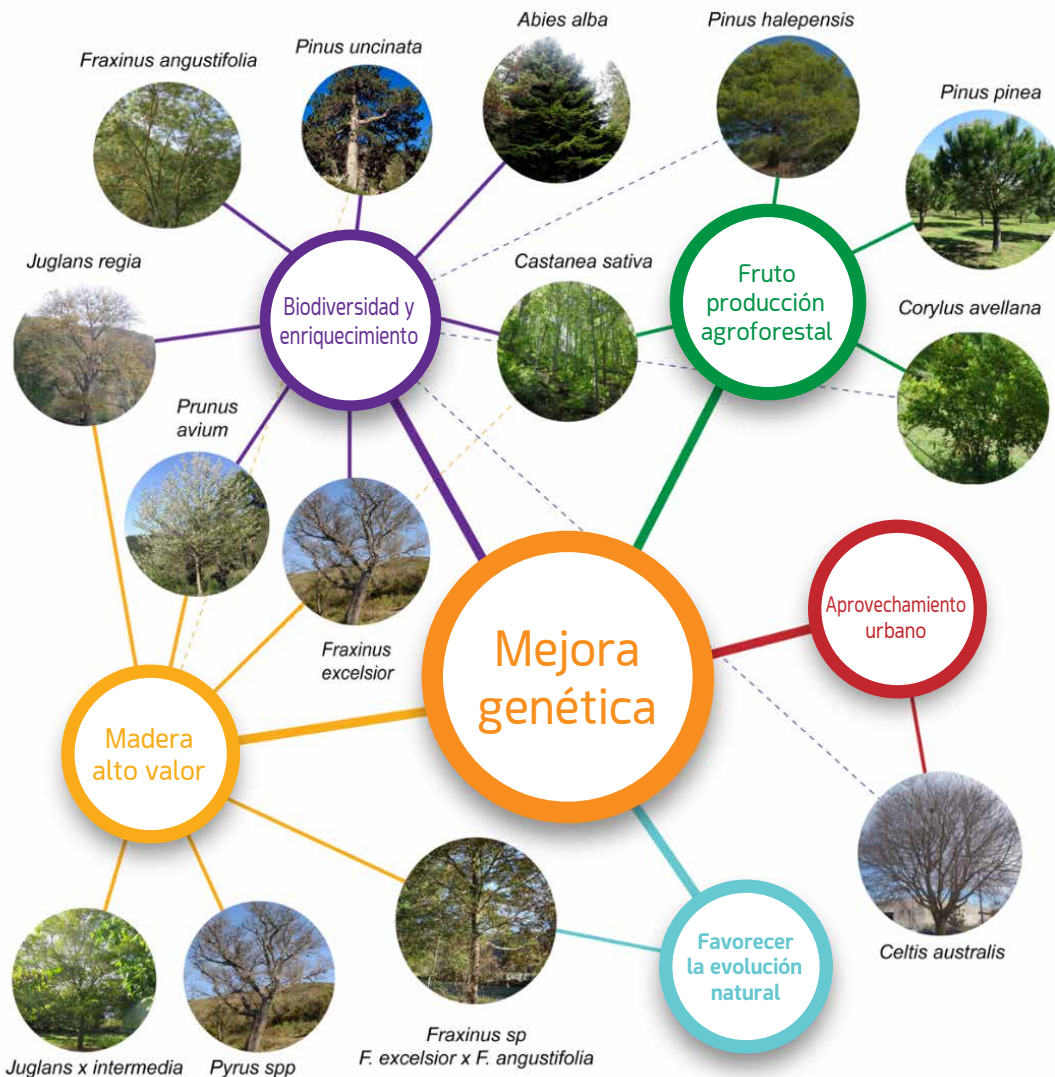


Figura 2. Especies para las que se están desarrollando actividades de mejora con diferentes objetivos.

MGF en Cataluña de las principales especies forestales

- **Abeto (*Abies alba* Mill.):** interés multifuncional. Se está desarrollando un estudio de diversidad genética en las poblaciones catalanas (marcadores SSRs) valorando la importancia de las diferencias entre las poblaciones del Pirineo y del Montseny. Objetivo prioritario: valorar la necesidad de conservación *ex situ* de algunos RFGs.
- **Castaño (*Castanea sativa* Mill.):** en grandes dificultades en Cataluña bajo el actual escenario climático. Objetivos: i) conservación de la diversidad genética en Cataluña; ii) instalación de un HS productor de MFR adaptado al previsible escenario climático del Montseny y con baja susceptibilidad al chancro (*Cryphonectria parasitica*); iii) Variedades de castaño destinadas a producción de fruto. Inscripción en el Registro de Variedades Comerciales (RVC).
- **Almez (*Celtis australis* L.):** interés en restauración de zonas marginales y urbanas. Objetivo: i) conservación de la diversidad genética en Cataluña; ii) producción de MFR de Árboles Monumentales identificados. Instalación HS a partir de sus progenies.
- **Avellano (*Corylus avellana* L.):** gran valor por la biodiversidad (alimento para la fauna) y como especie acompañante en plantaciones agroforestales o forestales mixtas. La cantera disponible proviene de variedades frutales. Objetivo: producción de MFR con aptitudes forestales, adaptado a distintas estaciones y con variabilidad genética. HS instalado a partir de progenies y selección de PFs con criterios de uso bien definidos por diferentes áreas climáticas.
- **Fresno de hoja pequeña (*Fraxinus angustifolia* Vahl.):** alternativa para producir madera de calidad (flexible y resistente) en zonas riparias y/o con sequía moderada. Objetivos: i) conservación de la diversidad genética actual; ii) valoración de la introgresión en el hábitat del fresno de hoja ancha; iii) instalación de MB a partir de la valoración de sus componentes en relación con la eficiencia en el uso del agua. HS instalado a partir de progenies de distintas procedencias de Cataluña.
- **Fresno de hoja ancha (*Fraxinus excelsior* L.):** productora de madera de calidad y de alto interés en ecosistemas de ribera del Pre-Pirineo y Pirineo. Muy extendida y preciada en Europa, pero con una bajada muy intensa de su presencia debido al hongo *Hymenoscyphus fraxineus*. En Cataluña también presenta cierta regresión por el incremento de las temperaturas y la incidencia de la sequía. Objetivos: i) conservación de la diversidad genética actual; ii) valoración del efecto de la introgresión de *F. angustifolia* en el hábitat de *F. excelsior*; iii) producción de MFR adaptados al futuro escenario biótico (especialmente, en lo que se refiere a *H. fraxineus*) y climático en la zona actual de distribución. HS clonal de *F. excelsior*. Valoración de la instalación de PFs de híbridos.
- **Nogal (*Juglans regia* L.):** interés por la producción de madera de calidad. Es el único MB bien desarrollado a nivel nacional. Objetivo: Producción de MFR con buenas características tecnológicas de la madera y acompañado de los correspondientes criterios de uso. Ampliación de los PFs registrados como productores de MFR calificado. Solicitud de registro de MB productor de MFR controlado.
- **Nogal negro (*Juglans nigra* L.):** especie no autóctona con madera de alto valor tecnológico y bien adaptada en ambientes húmedos y suelos ácidos. Objetivo: Producción MFR con los pertinentes criterios de uso. Instalación PF y solicitud de registro como productor de MFR controlado.
- **Nogal híbrido (*Juglans*intermedia* Becquey):** materiales seleccionados por su vigor híbrido (buena conformación y tolerancia a la sequía) por producción de madera. Fueron una buena alternativa para suplir la carencia de materiales de *J. regia* seleccionados para hacer madera en Europa. Las progenies híbridas han demostrado una buena adaptación a muchas áreas de influencia mediterránea y una buena respuesta en terrenos calcáreos. Objetivo: producción de MFR híbridos entre *J. nigra* y *J. regia*. La producción del PF, Ng209, registrado actualmente se ampliará para conseguir una mayor producción de semillas híbridas.
- **Pino piñonero (*Pinus pinea* L.):** productora de piñón (planta injertada para este objetivo). Es una buena alternativa en restauraciones forestales y agroforestales en suelos de

textura grosera. Objetivos: i) mantenimiento productivo de un campo productor de púas declarado que contiene 15 genotipos, 10 de categoría calificada y 5 controlada. Instalación de uno nuevo en una zona más fría para ampliar el período de injertada; ii) valoración productiva de los diferentes materiales inscritos en el CNMB a partir de una red Genotipo x Ambiente instalada a nivel español; iii) solicitud de registro de un HS de la Región de Procedencia (RP) Cataluña Litoral; iv) evaluación de progenies por su uso como patrones francos.

- **Pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.):** gran valor ecológico y paisajístico en muchas áreas de Cataluña. Actualmente sólo se contempla, desde el punto de vista de la MGF, como patrón de *P. pinea*. Objetivo: selección de patrones francos, para ser injertados con *P. pinea*, a partir de los materiales de tres rodales selectos de Cataluña. Valoración a la susceptibilidad frente al nematodo del pino (*Bursaphelenchus xilophylus*).
- **Cerezo (*Prunus avium* L.):** muy apreciada por el valor de la madera y, en plantaciones de enriquecimiento, para la fauna. Difícilmente homologable climáticamente, por tanto, dificultades en el uso de materiales seleccionados en otras áreas climáticas similares, pero físicamente alejadas de la estación de plantación. Mucho cuidado con la introgresión de las variedades cultivadas para fruta. Objetivos: producción MFR cercano. HS registrado por las condiciones de la zona norte de Catalunya. Instalación de PF de floración tardía para zonas frías.
- **Peral (*Pyrus spp.*)*:** madera muy preciada para realizar instrumentos musicales y tallas, y también para plantaciones de enriquecimiento para la alimentación de la fauna. Algunas variedades frutales vigorosas pueden producir buena madera, pero habitualmente se prefieren a los individuos silvestres. Objetivo: producción MFR para su uso en plantaciones agroforestales. Selección de PF.
- **Otras especies:** haya (*Fagus sylvatica* L.), pino negro (*Pinus uncinata*), serbal (*Sorbus domestica* L.)* y el madroño (*Arbutus unedo* L.): además de recoger la información existente en Europa, España y Cataluña, se están delimitando zonas para iniciar los distintos tipos de recogidas de material.

¿Qué se ha observado en la visita de la Torre Marimon?

En las instalaciones de la finca de Torre Marimon existe una representación de diferentes fases de la mejora genética (*Figura 1*) en algunas de las especies con las que se trabaja.

- Banco clonal de Fresno de hoja ancha (*Fraxinus excelsior*). Este campo corresponde a los primeros resultados de la **Fase I** de un programa de MGF: recoger la diversidad genética representativa de la especie en la zona de estudio (conservar el RFGs). Actualmente, cuenta con 54 genotipos, dos individuos representando cada ortet (árbol original), diferentes escogidos como representativos de las poblaciones de fresno desde La Vall d'Aran hasta La Selva. Sobre estos árboles se lleva a cabo una caracterización en rasgos adaptativos, reproductivos y morfológicos y la identificación y diferenciación por marcadores moleculares de cada genotipo. Las semillas o vástagos de los materiales escogidos se instalarán bajo un diseño de test de progenies para saber qué caracteres de interés son capaces de transmitir a sus descendientes. Actualmente existen dos test montados en 2018, uno en Tremp (Pallars Jussà) y el otro en Sant Feliu de Buixalleu (Selva), todos en fincas de Forestal Catalana. Son actividades correspondientes a la **Fase II**.
- Banco clonal de especies silvestres de perales (*Pyrus sp.*; Fase I). Es un BC que representa los materiales recogidos en toda la zona pirenaica y prepirenaica de peral silvestre. Incluye 34 genotipos de distintas especies e híbridos. De alguno de ellos se ha iniciado recientemente la valoración de sus descendencias en plantaciones, inicio **Fase III**.
- Ensayos en red de Genotipo x Ambiente de pino piñonero. El test de procedencias instalado en Torre Marimon (Caldes de Montbui, Vallès Oriental) es un ensayo clonal, cuyos árboles son injertados, que recoge 16 genotipos representativos de cuatro regiones de Procedencia españolas: La Mancha, Valles de los ríos Tiétar y Alberche, Meseta Norte y Cataluña Litoral. En el ámbito de Cataluña está aportando información del comportamiento en plantación de distintos clones registrados que se comercializan. Con estos datos y los procedentes de las otras tres plantaciones que integran la red de evaluación, ubicadas

fuera de Cataluña, se pretende elaborar criterios de uso de los materiales actualmente registrados. Datos para nutrir la **Fase III**.


- Huerto semillero clonal de *Prunus avium* y test de progenies asociado. En Torre Marimon se ha instalado un HS clonal que incluye 34 genotipos silvestres de *P. avium* del Pirineo y Pre-Pirineo catalán. Para escoger a los integrantes de este HS, aparte de la selección fenotípica inicial, se han hecho caracterizaciones morfológicas y fenológicas de los materiales y también se ha debido utilizar marcadores para conocer la compatibilidad reproductiva de los materiales. En este HS cualquiera de los integrantes puede ser polinizado al menos por 2 de cada 3 de los restantes componentes; esto garantiza una amplia interpolinización en el campo (panmixia). Este HS está registrado para obtener MFR de categoría calificada (2017). Para conocer las bondades de este HS, se ha instalado un test de progenies para realizar la valoración de las semillas obtenidas en conjunto por el HS en comparación con las de sus componentes en particular. Estos datos permiten plantearse depurar el HS y aportan información para conocer el interés de su registro como HS clonal productor de MFR controlado.
- Ensayo de un PF de *Pyrus sp.* sometido a varios acondicionadores del suelo. La técnica experimental, aplicada en los hoyos de plantación, debe permitir mejorar la retención de agua y/o la disponibilidad de nutrientes.

Normativa y técnicas viverísticas en la producción y comercialización de planta + plantel disponible actualmente y previsto a corto plazo

La producción y comercialización de los MFR (semillas, plantas y partes de plantas), se encuentra regulada por el Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, sobre la comercialización de los materiales forestales de reproducción, que transpone la Directiva 1999/105/CE del Consejo. Las especies reguladas en España son 70 (anexo XII RD289). Para las especies no reguladas, es de aplicación la Ley 30/2006, de 26 de julio, de semillas y plantas de vivero y recursos filogenéticos.

El catálogo estatal de materiales forestales de base, productores de los MFR regulados se puede consultar en el siguiente enlace: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/recursos-geneticos/geneticos-forestales/rgf_catalogo_materiales_base.aspx. Este documento proporciona a los potenciales cosechadores y usuarios información sobre el origen, la calidad y garantías de estos MFR. Existen cuatro categorías establecidas para su comercialización. Estas categorías son necesarias porque la calidad morfológica de un vástago es fácilmente observable y muy a menudo marca el precio de la cantera, pero, en cambio, la calidad genética no se puede detectar a simple vista. Sólo una adecuada identificación del MFR aportará suficiente información cuando se adquiere el material en los viveros autorizados. Así pues, según la normativa europea y española, existen cuatro categorías de MFR cada una de ellas asociada a un color de etiqueta (*Tabla 2*).

Tabla 2. Colores correspondientes a las etiquetas de las categorías vigentes de los MFR marcadas en los títulos. Selección aplicada por la obtención de cada categoría de MFR.

Información	Categoría MFR				
	Identificada	Seleccionada	Cualificada	Controlada	
Origen	Región de Procedencia	Región de Procedencia	No necesario	No necesario	
Tipo de Material de Base	Grupo de árboles o población	Población	Individuos o clones	Población, individuos o clones	
Tipo de selección	Ninguna	A nivel de población	Individual	A nivel de población/individual	
Avaluación de la superioridad	Ninguna	Fenotípica	Fenotípica	Genotípica	
Ensayo de comportamiento	No	No	No necesaria	Obligatoria	
Ganancia genética	Ninguna	-			+

El nivel de selección marca el potencial uso de los materiales: a mayor nivel de selección, mayor calidad (mayor expresión) tiene el carácter considerado como objetivo de mejora (por ejemplo, la producción de madera), pero se ve reducida la diversidad interespecífica.

Categoría identificada: proviene de una fuente semilla o rodal sin selección fenotípica. Puede emplearse en repoblaciones de carácter protector.

Categoría seleccionada: procede de un rodal seleccionado fenotípicamente a nivel de población. Se comercializa con el nombre de la RP.

Categoría calificada: proviene de diferentes tipos de MB, huertos semilleros, progenitores de familias, clones o mezcla de clones. Los componentes han sido seleccionados fenotípicamente de forma individual. La intensidad de selección se incrementa de HS<PF<clon. Los costes de selección, instalación y mantenimiento de este MB son elevados.

Categoría controlada: proviene de diferentes tipos de MB, rodales, huertos semilleros, progenitores de familias, clones o mezcla de clones. El MFR tiene una superioridad demostrada mediante ensayos comparativos o estimada a partir de la evaluación genética de los componentes de

los materiales de base. Además de los elevados costes de producción y mantenimiento del MB, como en la categoría anterior, el hecho de que se necesiten ensayos adicionales para demostrar su superioridad hace que este material sea escaso y esté disponible todavía en pocas especies.

Cualquier compra de MFR debe ir, aparte de correctamente etiquetada, acompañada del certificado patrón del proveedor extendido de acuerdo con la normativa vigente sobre la comercialización de los MFR.

En la **producción de planta forestal** las plantas que se ponen a la venta deben cumplir con unos criterios cuantitativos y cualitativos. El más importante de los cuantitativos es la altura del vástago, seguido del diámetro del cuello de raíz. Estas características están directamente relacionadas con la savia que tiene el plantón, y son diferentes para cada especie. Por lo que respecta a los criterios cualitativos, el comprador debe ser muy exigente con el estado sanitario de las plantas, descartando plantas desequilibradas entre las partes aérea y radical y aquellas con evidentes deformaciones o daños físicos.

La *Tabla 3* es una recopilación de la situación actual, de los resultados, de los PMG puestos en marcha en Cataluña.

Tabla 3. Material forestal de reproducción existente o disponible a corto plazo.

Especie	Material Base	Categoría	Objetivo Selección genética	MFR	Año registro
<i>C. sativa</i>	Clones	Q	Fruto	Estaquillas / Planta CF	2023
<i>C. sativa</i>	HS	Q	Madera	Semillas / Planta CF	Previsto 2026
<i>C. australis</i>	HS / PF	*	Multifuncional o madera	Semillas / Planta CF	Previsto 2024
<i>C. avellana</i>	PF	*	Multifuncional o madera	Semillas / Planta CF	Disponible
<i>F. angustifolia</i>	HS	Q	Multifuncional o madera	Semillas / Planta CF	Previsto 2025
<i>F. excelsior</i>	PF	Q	Madera / tolerancia <i>H. fraxineus</i>	Semillas / Planta CF	Previsto 2026
<i>J. nigra</i>	PF	Q	Madera	Semillas / Planta CF / Planta AN	Previsto 2024
<i>J. regia</i>	HS	Q	Madera	Semillas / Planta CF / Planta AN	Registrado
<i>J. regia</i>	PF	Q	Madera	Semillas / Planta CF	Registrado
<i>J. x intermedia</i>	PF	Q	Madera	Semillas / Planta CF	Registrado
<i>P. pinea</i>	Clones	Q	Fruto	Varetas / Planta CF	Registrado
<i>P. pinea</i>	Clones	C	Fruto	Varetas / Planta CF	Registrado
<i>P. pinea</i>	HS	Q	Fruto	Semillas / Planta CF	Previsto 2026
<i>P. avium</i>	HS	Q	Multifuncional o madera	Semillas / Planta CF	Registrado
<i>P. avium</i>	PF	Q	Multifuncional o madera	Semillas / Planta CF	Pendiente
<i>Pyrus spp.</i>	Mezcla Clones	-	Madera	Planta CF	Disponible

CF: Planta en contenedor forestal; AN: Planta a raíz desnuda. La selección y producción de MFR de las especies no reguladas siguen las mismas exigencias que si lo fueran.

Elección del material vegetal: una decisión clave en el diseño de una plantación

Aspectos que considerar en el diseño de una plantación:

Para conseguir una plantación satisfactoria es imprescindible conocer bien la información de contexto (aquella sobre la que no se puede actuar): clima, suelo, orientación, pendiente, coste de oportunidad del terreno, etc. En base a ello, es necesario hacer una reflexión compleja sobre el diseño a emplear. Esto implica decidir, de forma coordinada y simultánea, sobre seis factores (Figura 3).

- _ Objetivos de la plantación: lo que se pretende conseguir, desde el punto de vista productivo, ambiental, patrimonial o estético. Todas las plantaciones tienen un componente de multifuncionalidad cuyos pesos relativos pueden graduarse en función del perfil de la propiedad, vocación del terreno, accesibilidad, visibilidad, etc.
- _ Material vegetal: especie/s a emplear, procedencia, formato y genética. La diversidad genética ayudará a hacer frente a las diferentes perturbaciones que se pueden dar a lo largo de la vida de la plantación, pero también supondrá una mayor heterogeneidad en los resultados.
- _ Disposición y densidad: cómo organizar el material vegetal en el espacio, distancia entre la vegetación a instalar y posibles combinaciones con otras producciones (forestales, agrícolas o ganaderas). Estos factores definen el marco de plantación, que puede ser regular (cuadrado, rectangular, tresbolillo...) o irregular, siguiendo o no las curvas de nivel.
- _ Técnicas de plantación: medidas aplicadas poco antes, durante o justo después de plantar para facilitar la aclimatación del material vegetal en la zona de plantación, tratando de reducir el estrés post-plantación. Las principales decisiones en este sentido hacen referencia a la preparación del suelo (como realizar el subsolado, ahoyado, modificaciones de la superficie del terreno para concentrar la precipitación o la escorrentía), la plantación (mecanizada

o con herramientas manuales) y las medidas específicas para mitigar el impacto de las principales amenazas que pueden hacer fracasar la plantación, entre las que destacan la sequía, la vegetación competidora y los daños causados por la fauna. Algunas de las principales técnicas utilizadas incluyen el riego de implantación, los acondicionadores del suelo, las cubiertas del suelo o *mulch* (Coello y Piqué, 2016) o los sistemas de protección individuales o colectivos (Van Lerberghe, 2014).

- _ Técnicas de mantenimiento: medidas previstas para mitigar el efecto de las amenazas mencionadas o para maximizar el crecimiento de la plantación (riegos, fertilizaciones, desbroces), así como otras medidas necesarias para alcanzar los objetivos: reposiciones de marras, podas, cortes de rejuvenecimiento selecciones de rebrotes, aclareos... Una parte de estas intervenciones se puede prever, mientras que otras dependen de la evolución de la plantación.
- _ Disponibilidad de recursos: previsión de los recursos económicos, materiales y humanos de que se prevé disponer en los diferentes momentos de la vida de la plantación: se puede priorizar realizar una mayor inversión inicial para minimizar los gastos de mantenimiento, o al contrario.

La dimensión temporal de estos dos últimos factores implica que, ya desde la fase de diseño, es necesario pensar en la evolución esperada de la plantación en el tiempo, para alcanzar los objetivos marcados.

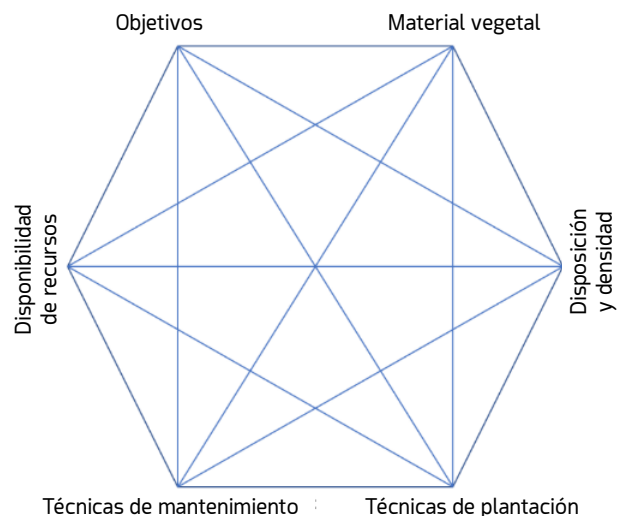


Figura 3. Los seis factores que definen el diseño de una plantación.

Las interacciones entre estos seis factores son múltiples y complejas, si bien existen itinerarios especialmente coherentes (Coello et al., 2017). Por ejemplo, un diseño muy centrado en la productividad haría lógico emplear un material vegetal de alta selección genética (ej: calificado o controlado), cuyo precio será elevado y por tanto se emplearía en una densidad baja y en marco regular, con una inversión significativa por árbol en técnicas de plantación y/o de mantenimiento (*Fotografía 1 izquierda*); esta última decisión dependería de si la propiedad tiene mayor capacidad de inversión inicial o si dispone de los medios para su mantenimiento a lo largo del tiempo. En cambio, en una plantación donde los aspectos paisajísticos y de conservación de la biodiversidad local fueran prioritarios sería conveniente utilizar materiales menos seleccionados (ej: identificado o seleccionado), con densidad intermedia o alta, quizás dispuesto de forma irregular, con técnicas de plantación y mantenimiento de bajo coste por árbol (*Fotografía 1 derecha*).

Elección del material vegetal

El material vegetal es uno de los seis factores que definen el diseño de una plantación. Los principales criterios que lo definen son:

- **Especie/s a emplear, procedencia:** el contexto actual de cambio climático hace necesario hacer una elección conservadora, es decir, hay que evitar utilizar materiales cerca de su límite más húmedo de distribución. En especies con un amplio rango de distribución es esencial elegir una procedencia que sea compatible con el área de plantación, y que sea análoga o bien más seca y calurosa.
- **Formato:** definido por la edad, el tamaño y si se sirve a raíz desnuda, en contenedor, como estaquillas o como semilla (en este caso, se hablaría de siembra y no de plantación). Por lo que respecta a la edad, conviene evitar utilizar planta envejecida (para una misma dimensión, conviene priorizar la planta más joven). En cuanto al tamaño, un criterio de decisión es económico: la planta pequeña es más barata de comprar, transportar y plantar que la mayor, pero es más vulnerable a la competencia que hace la vegetación espontánea y permanece al alcance de los herbívoros durante más tiempo. Un factor clave es que la planta tenga una parte aérea robusta y proporcionada con el sistema radical. En igualdad de edad y proporciones, conviene emplear la mayor planta. Entre utilizar planta en contenedor o a raíz desnuda, es habitual que cada especie se produzca en vivero de una u otra forma, siendo el formato más habitual en el mediterráneo la planta en contenedor, gracias a su menor vulnerabilidad a la desecación. Otros criterios visuales para tener en cuenta al elegir la planta son la adecuada lignificación, la buena nutrición de las hojas (en plantas perennes) y la ausencia de heridas o reviramientos en el tronco.
- **Nivel de selección genética:** como se explica en los apartados previos, las características genéticas del MFR tendrán que ser las adecuadas para las expectativas de cada plantación. Ante tan bruscamente cambiante escenario climático conviene ampliar en la medida de lo posible la diversidad genética.



Fotografía 1. Fotografía izquierda, plantación con objetivo prevalente productivo: uso de una única especie, progenie o clon. Solsona. Fotografía derecha, plantación con objetivo multifuncional: uso de múltiples especies. San Martí de Llàmena. Fuente: AGS-CTFC

Conclusiones

Las plantaciones forestales son las que deben permitir la continuidad de las masas arboladas en muchas zonas del mundo en condiciones ambientales cambiantes y necesidades muy diferentes. La utilización de los MFR adecuados debe permitir acercarse a este ambicioso objetivo.

La implantación de MB *ex situ* es costosa en tiempo. La selección de sus componentes es el punto clave, lo que marcará los rasgos del MFR que va a producir. Hay que considerar que en especies arbóreas las respuestas productivas y adaptativas no pueden valorarse sólo en ensayos juveniles.

Las necesidades en MGF de las especies están muy marcadas por la emergencia climática actual. Un objetivo clave de cualquier programa de MGF es mejorar la plasticidad adaptativa de la especie en cuestión.

La selección aumenta la ganancia genética de un material en relación a los caracteres de selección escogidos, pero disminuye su variabilidad genética.

Valorar los criterios/limitaciones de uso de un MFR es el primer paso antes de decidir qué material plantar.

La selección del material vegetal es una decisión compleja, enmarcada dentro de la aún más compleja fase de reflexión sobre el diseño de la plantación.

Referencias

- Coello J., Piqué, M. 2016. Acondicionadores y cubiertas del suelo para una plantación de árboles más eficiente y sostenible – Guía técnica. CTFC, Solsona. Pp:60.
- Coello J., Piqué M., Beltrán M., Cervera T, Baiges T. 2017. Models de gestió per a plantacions forestals i agroforestals d'espècies productores de fusta de qualitat - Noguera híbrida (*Juglans x intermedia*), cirerer (*Prunus avium* L.), freixe de fulla gran (*Fraxinus excelsior* L.). CPF. Santa Perpètua de Mogoda. Pp:60.
- Van Lerberghe, P. 2014. Proteger los árboles contra los daños de la fauna cinegética. Los protectores de malla. CNPF-IDF, París; Projecte Pirinoble. Pp:35.
- Naciones Unidas. 2011. Protocolo de Nagoya sobre acceso a los RFGS y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al convenio de la diversidad biológica. Pp:26. <https://www.miteco.gob.es/.../protocolo-de-nagoya/default-rg-nagoya.aspx>
- FAO. 2021. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. Informe principal. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>

Organiza:



75
años

Colaboran:



Patrocina:

