Life

PINASSA
PI NEGRAL
PINUS NIGRA

Life

NATURA 2000

El papel del fuego en la conservación del hábitat de los bosques de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.)

El papel del fuego en la conservación del hábitat de los bosques de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.)

Edita: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) i Bombers de la Generalitat de Catalunya

Autoría: Rut Domènech (CTFC), Míriam Piqué (CTFC), Asier Larrañaga (Bombers-GRAF), Mario Beltrán (CTFC), Marc Castellnou (Bombers-GRAF)

Participación técnica: Teresa Cervera (CPF), Noemi Palero (CPF), Jordi Camprodon (CTFC), David Guixé (CTFC), Marta Miralles (Bombers-GRAF)

Diseño y maquetación:

© Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC)

© Fotos: los autores

© Textos y figuras: los autores

Primera edición: mayo de 2018

Depósito legal: L 921-2018

Foto cubierta e interiores a página complerta: Jordi Bas.

Citación recomendada: Domènech, R.; Piqué, M.; Larrañaga, A.; Beltrán, M.; Castellnou, M. 2018. El papel del fuego en la conservación del hábitat de los bosques de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.). Proyecto Life+ PINASSA. Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC). 64 p.

Las opiniones expresadas en este manual son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea y de la Comisión Europea, por lo que no son atribuibles a estas instituciones.

Colaboración y cofinanciación:

Direcció General d'Ecosistemes Terrestres i Gestió del Medi. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Generalitat de Catalunya.

Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació

Agradecimientos:

Un reconocimiento muy especial a las personas y entidades propietarias forestales, por su participación en este proyecto e interés en la conservación de los bosques de pino laricio, también a las personas que de un modo u otro han participado en las diferentes acciones de conservación, especialmente en la ejecución de las quemas prescritas, y en la elaboración de este manual: personal técnico de los socios, de la administración forestal y de los parques naturales de la Generalitat de Catalunya, de otras entidades y empresas forestales, así como al personal en prácticas y equipos de inventarios forestales.

Este manual ha sido realizado en el marco del proyecto Life+ PINASSA, *Sustainable management for conservation of Black pine (*Pinus nigra *subsp.* salzmannii *var.* pyrenaica*) forests in Catalonia* (LIFE13 NAT/ES/000724, lifepinassa.eu).

El papel del fuego en la conservación del hábitat de los bosques de pino laricio (*Pinus nigra* Arn.)

Índice

1. Descripción y funcionamiento de los bosques de pino laricio **7**

1.1. Los bosques de pino laricio 8

Caracterización y distribución 8

Historia de los usos de los bosques de pino laricio 10

Ecología y dinámica de los bosques de pino laricio 11

1.2. Problemáticas actuales asociadas a los bosques de pino laricio 15

2. El fuego en los bosques de pino laricio **17**

2.1. El fuego como elemento natural 18

El fuego como componente natural del ecosistema 18

Fuegos de alta intensidad, fuegos de baja intensidad, fuegos prescritos y fuegos gestionados 19

2.2. Bosques de pino laricio adaptados a fuegos frecuentes de baja intensidad 22

Características de los bosques adaptados al fuego 22

Proceso de adaptación de los bosques de pino laricio a los fuegos de baja intensidad 23

Importancia de los bosques maduros de pino laricio 25

2.3. Efectos del fuego sobre la vegetación y la fauna 26

Efectos del fuego sobre la vegetación 26

Efectos del fuego en la fauna 26

2.4. Relación fuego-estructura forestal 27

2.5. Simulación del comportamiento del fuego 31

3. Quemas prescritas **35**

3.1. ¿Qué son las quemas prescritas? 36

Quemas prescritas en un contexto global 36

Objetivos de las quemas 36

¿Cómo se llevan a cabo las quemas prescritas? 39

Efectos de las quemas y seguimiento 40

3.2. Experiencia acumulada en el uso de las quemas prescritas para la conservación de los bosques de pino laricio 42

Reducción de la vulnerabilidad de los bosques de pino laricio a los fuegos de copas 42

Ayuda a la regeneración natural de pino laricio en masas forestales adultas 43

Preservación de bosques maduros emulando la dinámica de fuegos naturales de baja intensidad asociada al régimen de las igniciones causadas por rayos 44

4. Cómo integrar el fuego en la conservación del hábitat del pino laricio **47**

4.1. El restablecimiento de procesos naturales característicos de los bosques de pino laricio y la evolución a bosques maduros 48

4.2. Integración de las quemas prescritas como herramienta de gestión forestal 49

Marco regulatorio del uso del fuego 50

4.3. Fuegos naturales y gestión de incendios 51

Referencias bibliográficas **55**

Anexo I: Fichas de ejemplos aplicados **59**

1.

Descripción y funcionamiento de los bosques de pino laricio

1. Descripción y funcionamiento de los bosques de pino laricio

1.1. Los bosques de pino laricio

Caracterización y distribución

El pino laricio o pino negral (*Pinus nigra* Arn.) es un árbol característico de las zonas de montaña de la cuenca mediterránea. Esta especie engloba distintas formaciones de pinares en su área de distribución, entre otros motivos por la fragmentación y el carácter arcaico de la especie (Tapias *et al.*, 2004). Los bosques catalanes corresponden a *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco var. *pyrenaica.*

En determinadas condiciones ecológicas, el pino laricio puede desarrollarse hasta los 40 m de altura con una longevidad notablemente elevada en comparación con otros pinos, del orden de ochocientos años. La corteza plateada de los árboles adultos, a menudo rectos y cilíndricos, con la copa recogida en el tercio superior, es uno de los rasgos más característicos de la especie. El hábitat de los bosques de pino destaca en el ecosistema mediterráneo, tanto por las características del árbol como por el resto de biodiversidad asociada y la gran diversidad de usos y funciones requeridos por la sociedad desde antiguo.

El último Mapa Forestal de España (DGDRPF, 2016) cuantifica en unas 140.000 ha la extensión de los bosques de pino laricio en Catalunya, de las cuales, unas 65.000 ha serían masas mixtas. Se distribuyen, principalmente, en el Prepirineo y en puntos montañosos de las sierras prelitorales, así como en las últimas estribaciones del Sistema Ibérico (Beltrán *et al.*, 2012). Así, en cuanto a los bosques de pino laricio, se distinguen dos ámbitos geográficos, el prepirenaico y central y el meridional (Piqué *et al.*, 2014). Las formaciones meridionales presentan una influencia litoral y ambiente templado, mientras que las de ámbito prepirenaico y central se caracterizan por una mayor disponibilidad de agua y una continentalidad más acusada (Figura 1).

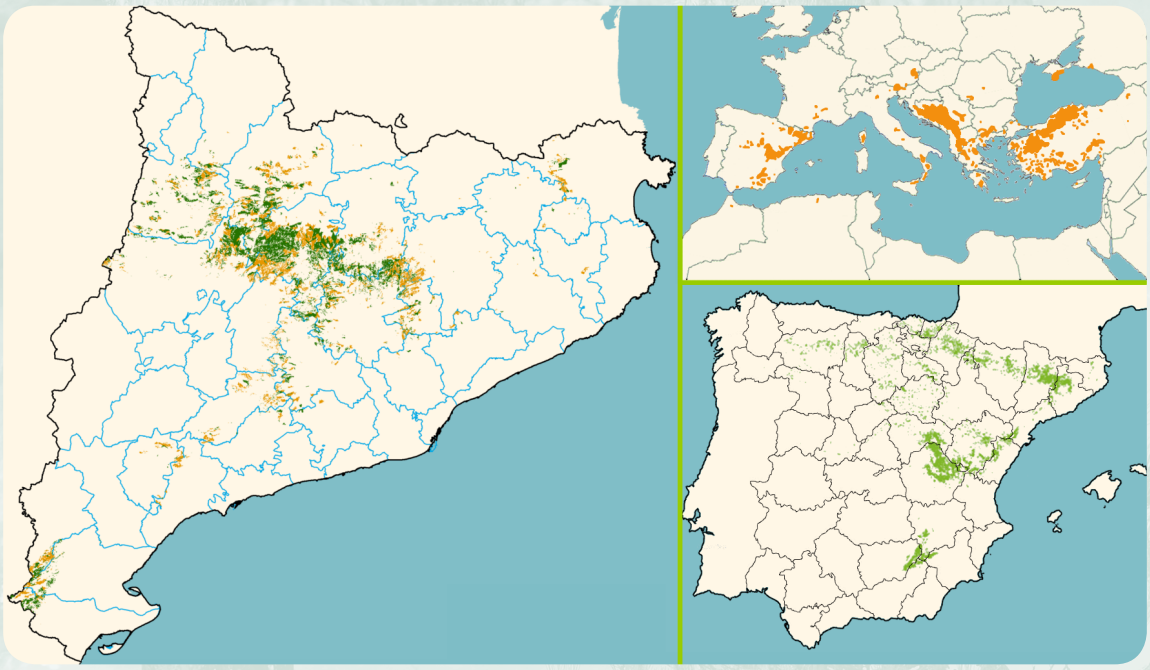


Figura 1. Distribución catalana e ibérica según el Mapa Forestal de España (DGDRPF, 2016) y mundial según EUFORGEN (Critchfield y Little, 1966) para *Pinus nigra*. En el mapa de Catalunya se distinguen los bosques considerados puros de pino laricio, en verde, y los mixtos dominados por esta especie, en naranja.

Los bosques de pino laricio vegetan, principalmente, sobre sustratos carbonatados (calcáreos) en el piso montano inferior, usualmente entre los 400 y los 1.400 metros (aunque, más frecuentemente, entre los 500 y los 1.000 metros), sobre todo en laderas orientadas al norte en zonas de clima mediterráneo continental. En esta franja comparte hábitat con el quejigo (*Quercus faginea*), y en los límites altitudinales compite con el pino albar (*Pinus sylvestris*), el roble pubescente (*Quercus pubescens*) o el roble cerrioide (*Quercus cerrioides*) en las cotas más altas, y con el pino carrasco (*Pinus halepensis*) y la encina (*Quercus ilex*) en las cotas más bajas (Figura 2).

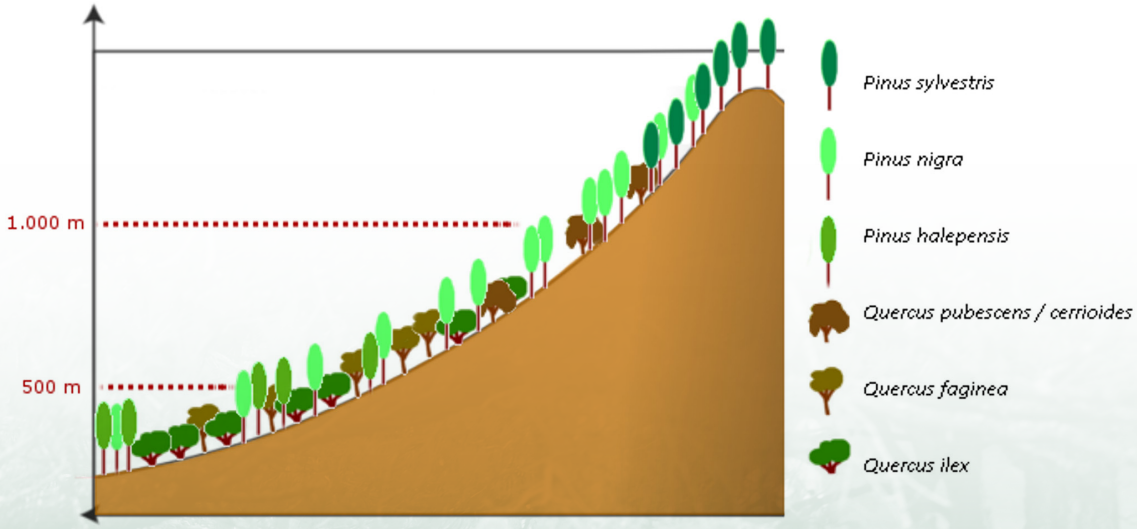


Figura 2. Distribución altitudinal del pino laricio en Catalunya..

Los bosques de pino laricio constituyen un hábitat de interés comunitario prioritario descrito en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres: 9530* Pinares (sud-) mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos. *El Manual dels hàbitats de Catalunya* (Vigo *et al.*, 2005) (identifica cuatro hábitats en Catalunya con la clasificación CORINE para los bosques de pino laricio o negral (Figura 3 y Figura 4).

Anexo I de la Directiva 92/43/CEE	9530* Pinares (sud-) mediterráneos de *Pinus nigra* endémicos
*Manual dels H*àbitats *de Catalunya*	42.632 Bosques de pino laricio de los Prepirineos, el territorio ausosegárrico y las montañas mediterráneas septentrionales (hasta el alto Gaià) 42.67 Bosques de pino laricio, o repoblaciones, sin sotobosque forestal 42.637+ Bosques de pino laricio de las montañas mediterráneas meridionales (de Prades y Montsant al Port) 43.7713 Bosques mixtos de quejigo y pino laricio o pino silvestre, calcícolas, del piso montano poco lluvioso (y de tierra baja)

Figura 3. Hábitat de interés comunitario prioritario de los bosques de pino laricio o negral y hábitats de Catalunya que incluyen bosques de pino laricio.

Figura 4. Bosque de pino laricio del Prepirineo (izquierda) y bosque de pino laricio del ámbito meridional catalán (derecha). Fotos: Jordi Bas.

Historia de los usos de los bosques de pino laricio

Durante milenios, la interacción humana con el bosque ha modelado intensamente la estructura y la distribución de los bosques de pino laricio, principalmente con el uso de pastoreo y la obtención de productos (madera, leña gruesa y fina, hojarasca, piñas, corteza, tea y resina), así como por la transformación en cultivos. Cabe destacar la transformación para la agricultura de las laderas de las áreas de media montaña pobladas por pino laricio, más o menos constante durante el siglo XIX a causa del crecimiento demográfico y el proceso desamortizador (Casals *et al.*, 2005).

Por otra parte, las estructuras abiertas de pino laricio permitían mantener pastizales sombreados en clima mediterráneo de montaña, lo que prolongaba el verdor y la palatabilidad de estos, y diversificaba las especies. Por ello, el hábitat de pino laricio se vio favorecido en las laderas no conreadas de la media montaña en Catalunya y nunca desaparecieron de lugares como Els Ports, Cardó, Tivissa-Vandellòs, Llaberia o Montsant.

Figura 5. Distintos usos y funciones de los bosques de pino laricio. Arriba, izquierda: marcas en el tronco de antiguos aprovechamientos de tea. Arriba, derecha: uso de pastoreo del bosque. Abajo: aprovechamiento de madera de pino laricio. Fotos: AGS-CTFC, Mario Beltrán y Jarkov Reverté.

La madera de pino laricio ha sido, históricamente, una de las más apreciadas para la construcción civil y naval, así como para la ebanistería, principalmente por sus características favorables en cuento a resistencia mecánica, durabilidad y facilidad de trabajo, pero también por hallarse en zonas relativamente accesibles para la explotación. Adicionalmente, el pino laricio ha sido la principal especie para elaborar uno de los productos más específicos en cuanto a los requisitos tecnológicos, los postes de cableado. En general, debido a la demanda multifuncional (Figura 5), tanto la estructura como la composición de estos bosques se ha visto condicionada por distintas acciones de gestión. Se puede encontrar, a menudo, una estructura de bosque con

un dosel arbolado denso y dominante de pino laricio bajo el cual hay un subvuelo más o menos abundante de *Quercus* mediterráneos poco desarrollados; el pino laricio se ha visto favorecido para la producción de madera, mientras que los *Quercus* mediterráneos se aprovechaban para leña.

Los cambios socioeconómicos del siglo xx, con el descenso generalizado de la actividad en el entorno rural, iniciaron las dinámicas de expansión y densificación de los bosques, también en los de pino laricio. Asimismo, el abandono del uso de pastizales y del aprovechamiento de leña ha supuesto un incremento de las formaciones mixtas con *Quercus* mediterráneos, y de robles y carrascas, en el sotobosque de los bosques de pino laricio. Los catastróficos incendios de los años noventa del siglo pasado, que afectaron especialmente a esta especie, se relacionan, también, con el proceso de densificación y acumulación de biomasa en los bosques de pino laricio (Plana, 2004).

Ecología y dinámica de los bosques de pino laricio

Las adaptaciones de los árboles para sobrevivir al paso del fuego son fundamentales en la ecología de los bosques adaptados a regímenes recurrentes de fuegos (Figura 6 y Figura 7). Aunque el fuego normalmente produce la muerte de pequeñas coníferas con corteza fina debido al efecto de la temperatura en el cámbium (van Mantgem y Schwartz, 2003), muchas coníferas en la edad adulta presentan una corteza doble y aislante (relativamente no inflamable), acículas largas, autopoda de las ramas inferiores, copa aparasolada y raíces profundas. Este es el caso del pino laricio, que además presenta gruesas escamas que cubren los brotes, grupos de densas acículas que cierran y protegen los meristemas y una alta humedad foliar. Las acículas y los brotes también suelen estar elevados, lejos de la zona de la llama. Asimismo, su alto contenido de humedad foliar le permite soportar un gran calentamiento, siempre que los brotes y las ramas, que toleran temperaturas más altas que las acículas, no se calcinen. Además, los individuos jóvenes tienen la capacidad de volver a producir hoja verde en caso de que se haya calcinado la hoja (sin llamear), ya que la yema está especialmente bien protegida por las acículas grandes.

Atributos de persistencia

El pino laricio, en estadios adultos, desarrolla distintas características fisiológicas para no verse afectado por el fuego. Estas estrategias surten efecto siempre y cuando se organice en estructuras forestales con poco sotobosque, discontinuidad vertical de los estratos de vegetación y más o menos abiertas en cuanto a la cabida cubierta del arbolado. Estas características son las siguientes:

- Autopoda y copa aparasolada. Capacidad de producir discontinuidad vertical entre las copas y la vegetación inferior.
- Las grandes y gruesas capas de su corteza, que lo aíslan de las altas temperaturas.
- Protección de los ramos de acículas y escamas que rodean la yema de las ramas.
- Rebrote de la copa en caso de quema superficial.
- Longevidad, que le posibilita el máximo desarrollo.
- Resistencia y rectitud del tronco, que lo hacen imputrescible.

Asimismo, la dispersión de los piñones por el viento, con una gran producción de semilla, especialmente cuando los árboles adultos se encuentran en cumbres expuestas, es un factor positivo para la persistencia del pino laricio.

Condiciones para el establecimiento del regenerado

El establecimiento del regenerado es una fase crítica para los bosques de pino laricio, ya que las semillas necesitan condiciones ambientales y edáficas más restrictivas que las de otros pinos presentes en el hábitat (pino carrasco o pino albar) o, incluso, que las requeridas por los *Quercus* mediterráneos a la hora de rebrotar. En general, las semillas necesitan el contacto con el suelo mineral y, a la vez, cierta humedad y cobertura para evitar la insolación directa, por lo que el sotobosque establece una compleja relación de competencia-facilitación con el pino laricio. Por otra parte, la presencia de un dosel adulto no dificulta el establecimiento de una nueva cohorte, especialmente con estructuras heterogéneas de rodales densos y otros más abiertos. Por todo ello, es fácil observar que el pino laricio no participa de la primera respuesta del bosque ante un incendio forestal, sino que requiere una primera recuperación de los estratos arbustivo y arbóreo de especies rebrotadoras y más pioneras. Esto implica que en las primeras etapas tras un gran incendio dominen especies como las encinas, los robles, el pino carrasco o, incluso, el pino albar, y años más tarde, a la sombra de su cobertura, aparezca de nuevo el pino laricio.

Episodios críticos de la vida

- Producción de propágulos y crecimiento. El pino laricio presenta cierta anualidad en la producción de semillas, lo que determina una variabilidad bastante elevada del banco de piñones correspondiente a cada año. La edad de la primera reproducción del pino laricio es tardía, entre los 14 y los 23 años, y esto dificulta su regeneración tras un incendio si la recurrencia es elevada.

  Los piñones de pino laricio no presentan periodos de dormición y su viabilidad en el suelo es de pocos meses. La germinación tiene lugar en primavera y principios de verano bajo determinadas condiciones de humedad. En años con una marcada variabilidad climática, es posible que los piñones no encuentren las condiciones adecuadas para germinar y no duren el tiempo suficiente para esperar una mejora ambiental.

- Madurez. La madurez, en términos de capacidad reproductiva del dosel arbóreo, se alcanza entre los 40 y los 80 años, en general, en función de la calidad de estación. Las semillas no presentan ninguna característica de la serotinidad; a medida que maduran se van abriendo y no responden a ningún estímulo térmico. El pino laricio necesita cierta cobertura para crecer, por lo que, cuando se produce un incendio de alta intensidad, su semilla no compite prácticamente con otras especies que toleran mejor el sol directo sobre el suelo quemado. En cambio, en un incendio de baja intensidad, tras el que persistan las copas de los árboles, la semilla del pino laricio tiene mayores posibilidades de germinar y crecer.

- Vejez. La longevidad del pino laricio hace difícil determinar cuándo entra en estadios de vejez y senescencia. No obstante, uno de los síntomas de esta etapa es un descenso en la producción de piña.

Figura 6. Rasgos adaptativos del pino laricio.

Figura 7. Aspecto plateado de los troncos de pinos laricio adultos. Foto: AGS-CTFC.

El pino laricio ha formado históricamente, en determinados lugares, lo que se conoce como **bosques adaptados a la recurrencia de fuegos**, definidos como bosques con un intervalo de retorno del fuego inferior a 35 años según Reynolds *et al.* (2013). Estos bosques forman un mosaico típicamente compuesto por grupos de árboles, árboles individuales dispersos y espacios abiertos con comunidades herbáceas o arbustivas (Larson y Churchill, 2012) A diferencia de la típica imagen de bosque maduro en ambientes húmedos centroeuropeos, a menudo los bosques maduros de pino laricio se localizan en lugares montañosos con un régimen de fuego de elevada recurrencia y condiciones ambientales más secas (pluviometría anual inferior a 700 mm repartida irregularmente durante el año y marcada sequía estival). Estos tipos de bosques son característicos de los macizos meridionales, desde las montañas de Prades y el Montsant a Els Ports, pasando por Tivissa-Vandellòs, Llaberia y Cardó (Figura 8).

Figura 8. Los bosques maduros en zonas de montaña con régimen de fuegos recurrentes son característicos de paisajes como el del Parque Natural de Els Ports. Foto: Jordi Bas.

Concepto de bosque maduro

Un conjunto de árboles maduros no equivale a un bosque maduro. Los bosques maduros presentan unas características especiales, resultantes de muchos años de crecimiento. La estructura de los bosques maduros varía según el tipo de bosque, el clima, las características del lugar y el régimen de perturbaciones, pero se distingue por la dominancia de grandes árboles y de edad cercana al límite de su longevidad (con una edad media de los árboles del orden de la mitad de su longevidad), la variación en el tamaño y la distribución de los árboles, las acumulaciones de madera muerta en pie o en el suelo, decaimiento, múltiples estratos de copas, espacios vacíos y sotobosque no continuo (Kaufmann *et al.*, 1992).

La expresión «old-growth forest» es la más utilizada para denominar los bosques maduros, especialmente en Norteamérica (Wirth *et al.*, 2009), aunque en Gran Bretaña se utiliza también la expresión «ancient forest» o «ancient woodland». Se ha traducido al francés como «forêt ancienne» o «forêt à caractère naturel», entre otras denominaciones (Gilg, 2005). En español se ha utilizado tanto la denominación de «bosques maduros» como la de «bosques viejos» (EUROPARC-España, 2017).

El pino laricio es una especie longeva que vive en condiciones climáticas con distintos factores estresantes. Sin embargo, las formaciones actuales están muy por debajo de su longevidad natural. En el ámbito de Catalunya, solo existen unas escasas muestras de rodales con cierto grado de madurez, de poca superficie (Camprodon *et al.*, 2018).

Otro rasgo de adaptación de los bosques al fuego es su distribución espacial, que se puede describir en tres niveles jerárquicos: a pequeña escala (árbol o grupo de árboles), a mediana escala (rodal más o menos homogéneo) y a escala de paisaje (macizo) (Figura 9). La pequeña escala se refiere a la composición de las especies en cuanto a la edad, la estructura y la distribución espacial de los árboles (en grupo o individualmente). La mediana escala está formada por estructuras relativamente homogéneas en cuanto a su composición y estructura. La escala de paisaje está compuesta por rodales con pendiente, orientaciones, alturas y tipos de suelos, perturbaciones y usos del suelo diferenciados. Los bosques maduros de pino laricio presentan este tipo de patrón espacial característico.

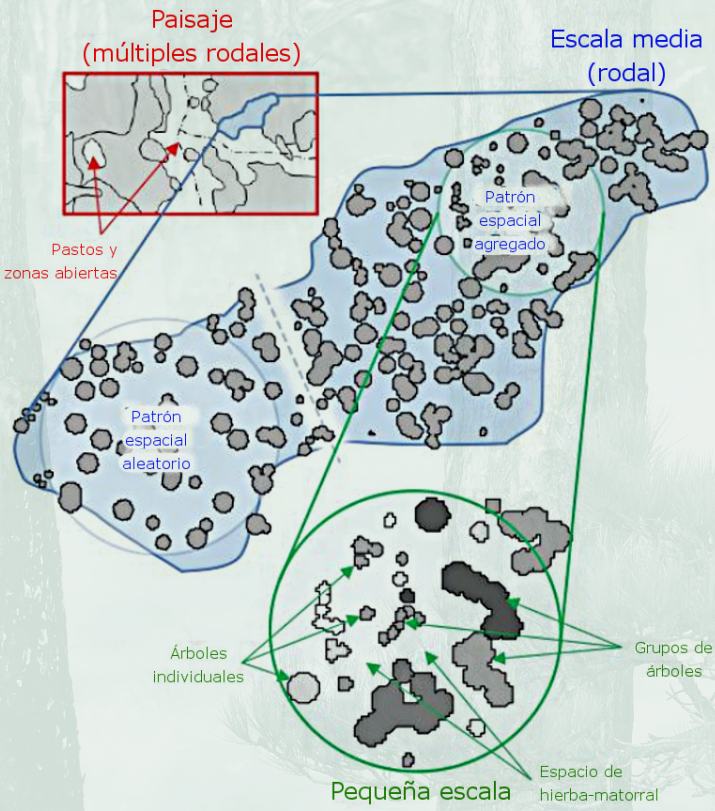


Figura 9. Patrones de vegetación de los bosques adaptados a la recurrencia de incendios a distintas escalas espaciales. Adaptado de Reynolds *et al.* (2013).

1.2. Problemáticas actuales asociadas a los bosques de pino laricio

La **principal amenaza para el hábitat de los bosques de pino laricio es el actual contexto de cambio global**. Los cambios en el régimen climático, siempre en interacción con los cambios socioeconómicos y de actividad en el medio rural, pueden agravar distintos problemas que podrían comportar una regresión del hábitat. Destacan, en este sentido, perturbaciones intensas como los grandes incendios forestales, las plagas o las sequías persistentes.

Las predicciones climáticas actuales apuntan, mayoritariamente, a una **modificación del régimen pluviométrico** (principalmente con un patrón mucho más irregular) y a un **aumento de temperaturas**, con una intensificación de las sequías y de las tormentas (fenómenos extremos). A escala europea, se prevén las **peores condiciones (altas temperaturas y sequía) en la región mediterránea**.

Los efectos de los fenómenos extremos (principalmente, las sequías extremas) pueden tener drásticas consecuencias sobre el crecimiento y la supervivencia de los árboles(Loustau *et al.*, 2005; Granier *et al.*, 2007); también, en la regeneración del pino laricio (Tíscar y Lucas-Borja, 2010; Tíscar y Linares, 2014).

Es previsible que el cambio climático y el cambio de usos, de forma conjunta, tengan importantes efectos sobre los bosques de pino laricio, entre los que cabe destacar (Beltrán *et al.*, 2012):

- **Cambio de área de distribución.** En las zonas más bajas y térmicas es previsible que la presencia de pino laricio se vea reducida y restringida a enclaves especialmente frescos. Por otra parte, se prevé que las formaciones de pino laricio se desplacen hacia zonas actualmente más húmedas y/o en altitud.
- **Cambios en la composición específica.** El aumento de formaciones mixtas, especialmente con planifolios, a expensas de las masas puras es una tendencia destacable vinculada a los cambios de usos y de área de distribución. Además, los cambios en las condiciones ecológicas propiciarán la entrada de especies mediterráneas en comunidades vegetales templadas temperades (Peñuelas y Boada, 2003). En altitudes medias y bajas, estos procesos alterarán las relaciones competitivas de los bosques de pino laricio. El efecto combinado del decaimiento y de los incendios puede conducir a estructuras arboladas abiertas o de porte arbustivo.
- **Aumento del decaimiento y las afecciones de plagas.** Los bosques de pino laricio sufrirán situaciones de estrés hídrico vinculadas, a menudo, a sequías prolongadas y a olas de calor, agravadas por la mayor competencia con el estrato de frondosas. Además, las plagas defoliadoras se verán favorecidas por una temperatura más alta (Hódar *et al.*, 2004).
- **Aumento del riesgo de incendio.** Se prevé un incremento de la frecuencia, la duración y la intensidad de los episodios climáticos adversos, responsables de los grandes incendios en Catalunya; también, una evapotranspiración más elevada de la cubierta vegetal y, por lo tanto, un contenido de humedad más bajo de las plantas, factores que inciden en el aumento de la intensidad del fuego.

La principal perturbación natural que afecta al pino laricio es el fuego. El pino laricio es una especie adaptada a los regímenes de incendios frecuentes de baja intensidad y severidad, pero con pocas oportunidades de supervivencia tras grandes incendios forestales.

Los bosques de pino laricio desarrollados en un contexto de fuegos recurrentes de baja intensidad no presentan un sotobosque denso ni acumulación de biomasa. En cambio, los bosques de pino laricio en ausencia de estos fuegos de baja intensidad generan estructuras cada vez más vulnerables a generar incendios de mayor intensidad (Figura 10) debido al desarrollo del sotobosque, que supone más disponibilidad de combustible y una mayor continuidad entre estratos de vegetación.

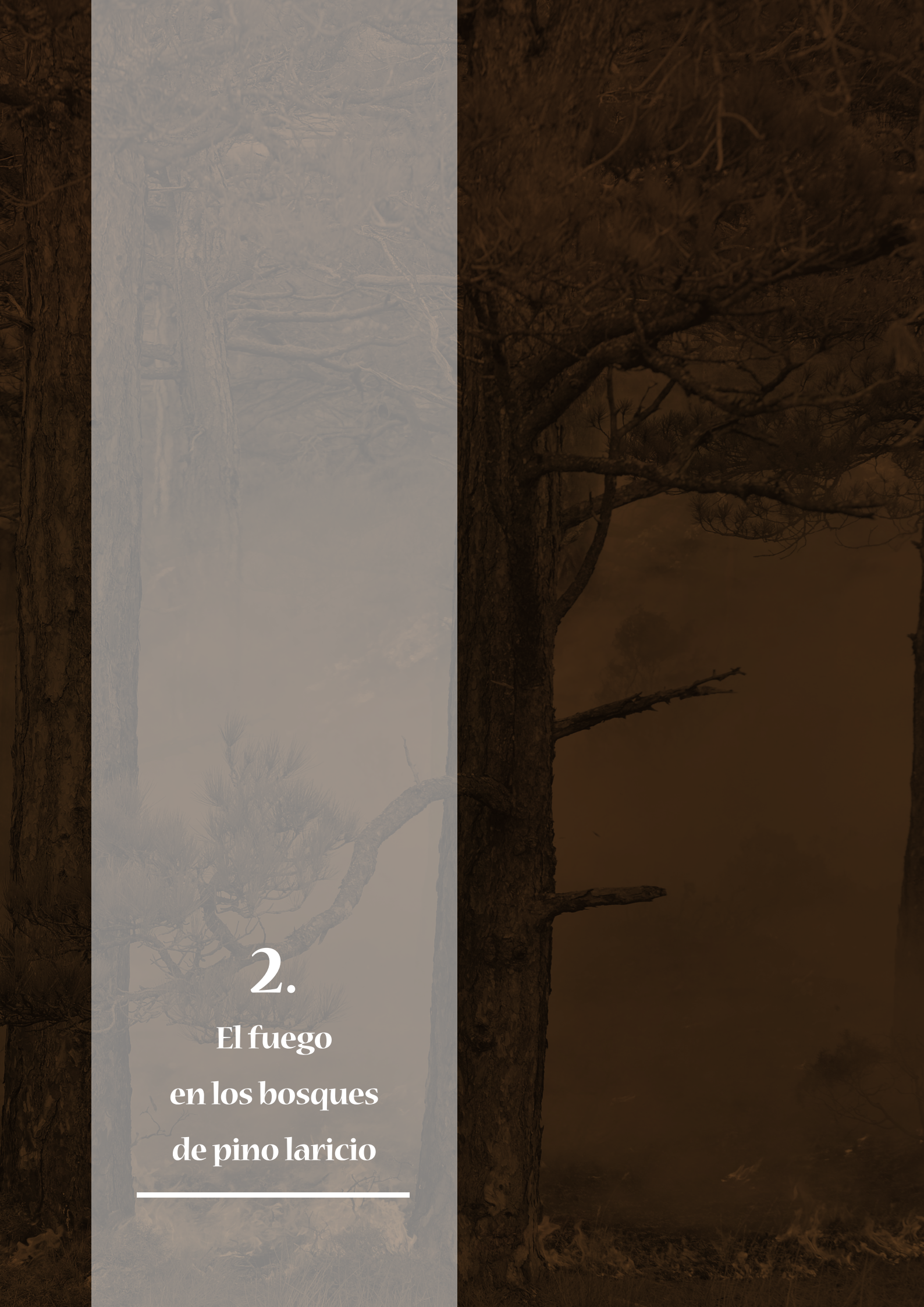
Figura 10. Imágenes de fuegos de alta intensidad en bosques de pino laricio en Cardona (Bages) durante (izquierda) y despues (derecha) del incendio de 2005. Foto: Bombers de la Generalitat.

Por otra parte, las condiciones ambientales pueden ser favorables al desarrollo de plagas como la procesionaria que, si bien no tienen capacidad de eliminar masivamente los pinos, afectan al crecimiento del bosque, perjudican determinados usos y funciones e incrementan otros riesgos asociados, como las sequías y los incendios. En cualquier caso, las dinámicas naturales del hábitat de pino laricio se ven alteradas cuando las plagas se desarrollan con notoriedad.

Otro de los principales factores que condiciona el estado de los bosques y que puede representar una amenaza para el hábitat es el cambio en las actividades rurales (Figura 11). El abandono rural, acompañado del descenso en la actividad selvícola, agrícola y pastoral, ha supuesto un **cambio en los usos del territorio en los últimos años**, que incide sobre los bosques de pino laricio en tres sentidos:

- **Expansión del pino laricio.** Aunque el pino laricio no presenta un carácter esencialmente pionero, sí que actúa como colonizador de espacios abiertos cuando las condiciones le son favorables, especialmente en zonas de pastoreo abandonadas con presencia puntual de grandes árboles. En el Prepirineo se aprecia, en el caso de cultivos marginales abandonados, una colonización conjunta con robles, lo que genera un paisaje cada vez más homogéneo con continuidad de bosque, que puede representar un peligro en cuanto a la propagación de grandes incendios.
- **Densificación y modificación de la estructura forestal.** Sin el continuo aprovechamiento al que eran sometidos, históricamente, los bosques de pino laricio, y con la eliminación de la perturbación fuego, debido al abandono de las quemas tradicionales y a las políticas de extinción de incendios, en los bosques existentes aumenta la cubierta y la cantidad de biomasa acumulada, ya sea en el estrato arbóreo o, en el caso de formaciones más abiertas, en el arbustivo. En el caso del pino laricio, el incremento de biomasa se debe, principalmente, a otras especies, fundamentalmente frondosas, que afectan a la estructura forestal.
- **Cambio de composición de los bosques actuales dominados por el pino laricio.** Se produce un descenso progresivo del pino laricio y una mayor proporción de robles, encinas y otros planifolios poco favorecidos por la gestión tradicional.

Figura 11. Ortofotos de 1946 (izquierda) y de 2016 (derecha) del entorno del Castillo de Besora (Solsonès), donde se observan los procesos de expansión y densificación de los bosques de pino laricio debido al abandono rural. Fuente: ICGC.



2.

El fuego en los bosques de pino laricio

2. El fuego en los bosques de pino laricio

2.1. El fuego como elemento natural

El fuego como componente natural del ecosistema

El fuego es un elemento natural en muchos ecosistemas, y como tal interacciona con sus componentes abióticos y bióticos. **El fuego es un componente integral de la función y la biodiversidad de numerosos hábitats naturales** y los organismos de estas comunidades se han adaptado para resistir, e incluso aprovechar, el incendio forestal natural. En general, el fuego se considera una perturbación natural, similar a las inundaciones, las tormentas o los corrimientos de tierra, que ha impulsado la evolución de las especies y controla las características de los ecosistemas.

El estudio del rol del fuego en los ecosistemas, o **ecología del fuego**, es un campo que se ha desarrollado intensamente en los últimos años, con especial interés por determinar cuál es la frecuencia natural del fuego en determinados ecosistemas. El **régimen de incendios** se caracteriza por el patrón, la frecuencia y la intensidad de los fuegos predominantes en una zona durante largos periodos de tiempo (Figura 12). Pueden modificar este régimen tanto los patrones meteorológicos o climáticos como el tipo de vegetación o la acción humana (Pausas y Keeley, 2009). Muchas especies están adaptadas a un régimen de incendios concreto, característico de su historia evolutiva, que necesitan que se mantenga para poder sobrevivir.

El fuego como elemento natural, en forma de tormentas e igniciones por rayo, es **común y frecuente**, también en Catalunya. Las zonas de afectación más importantes son las cuencas interiores, el Prepirineo y las últimas estribaciones del Sistema Ibérico. Su importancia histórica ha sido clave en la modelización del paisaje (Cunill *et al.*, 2012). Recientemente, los rayos se han encontrado en el origen de importantes incendios como el de Margalef (Priorat), en julio de 1994, con 4.500 ha quemadas, el de Tivissa (Ribera d'Ebre), en junio de 2014, con 830 ha, o el de Cerbi (Pallars Sobirà), en octubre de 2016, con 620 ha.

Sin embargo, **el ser humano también influye en los patrones de fuego**, y lo lleva a cabo de tres modos distintos: provocando nuevas igniciones, cambiando las características de la vegetación y suprimiendo incendios activamente. Dada la larga trayectoria de ocupación humana en Europa, estos aspectos son relevantes e incluyen, además, el fuego como herramienta de gestión del paisaje. El conocimiento y dominio del fuego en el bosque es lo que se denomina *cultura del fuego*. Durante siglos, se ha utilizado el fuego con distintos objetivos, lo que ha modelado un paisaje que resultaba sostenible a lo largo de los años, sin que el fuego representara una amenaza importante. De hecho, existen rutas de trashumancia en la península ibérica que se dirigen desde el Sistema Ibérico al Pirineo, curiosamente entre los dos hábitats de pino laricio separados por el valle del Ebro, con el mantenimiento de **la quema de paisajes como principal agente modelizador de los bosques de pino laricio**.

En la actualidad, esta cultura se ha perdido progresivamente y el fuego como herramienta ha ido desapareciendo. Paradójicamente, hoy en día es solo noticia como acontecimiento catastrófico a raíz de los grandes incendios forestales. No obstante, **el fuego todavía está muy presente en el terreno de la cultura, especialmente en las celebraciones de carácter festivo** (Carrera, 2012) que tienen lugar a lo largo del año, como las Fallas de los Pirineos (reconocidas como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad por la Unesco), las hogueras de Sant Joan o las de Sant Antoni, entre otras.

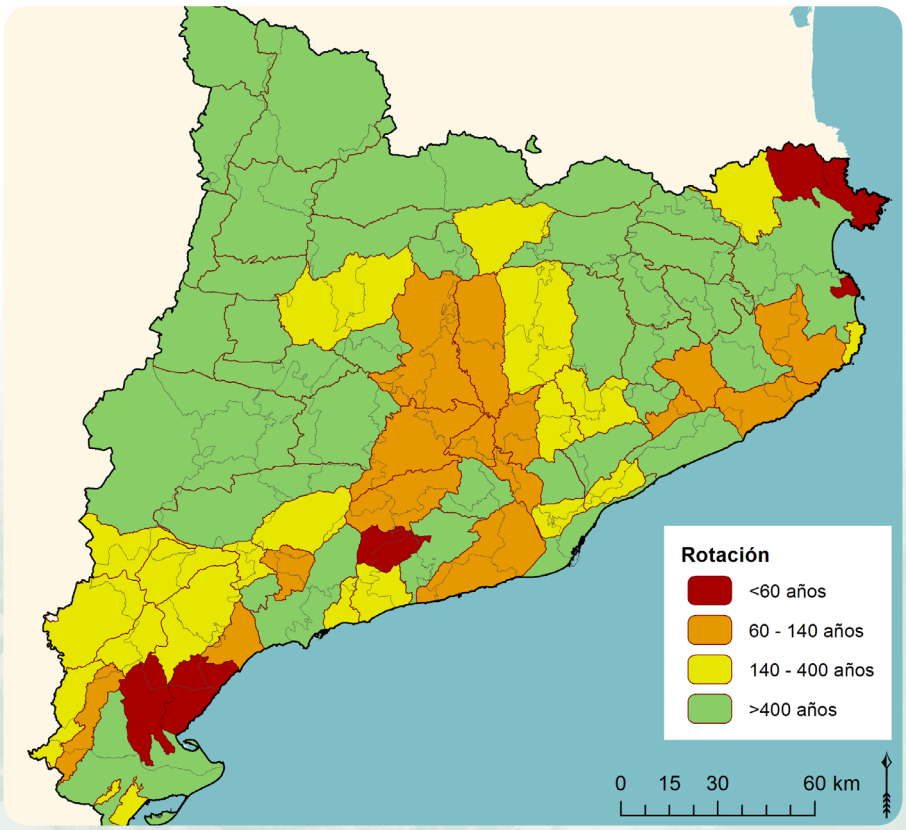


Figura 12. Mapa de zonas homogéneas de régimen de incendio en Catalunya (ZHR, delimitadas con línea roja) e intervalos aproximados del periodo de rotación del fuego (adaptado de Piqué *et al.*, 2011). El periodo de rotación del fuego representa el tiempo que tardará una ZHR en arder por completo.

Fuegos de alta intensidad, fuegos de baja intensidad, fuegos prescritos y fuegos gestionados

Se puede diferenciar, en cuanto a los efectos del fuego, en fuegos de alta intensidad y fuegos de baja intensidad.

Fuego de alta intensidad. Representa el aspecto negativo del fuego y es el tipo de fuego más conocido por la población en general. En los últimos años, debido a la acumulación de combustible en los bosques y a unas condiciones climáticas más secas, los efectos del fuego están resultando devastadores (Figura 13). Se caracteriza por **provocar severos efectos** en los ecosistemas y situaciones fuera del alcance de los equipos de extinción.

Figura 13. Fuego de alta intensidad en un bosque de pino laricio en Balsareny (Bages). Incendio de Castellnou de Bages (2005). Foto: Bombers de la Generalitat.

Fuego de baja intensidad. Representa la vertiente positiva del fuego. Según Terradas (1996), este tipo de fuego **no provoca mortalidad** general y sí cambio de especies, de dominancia o en la disponibilidad de recursos. Los incendios que se desarrollan con baja intensidad pueden producir efectos como la eliminación del combustible superficial, poda térmica de las ramas inferiores o vaciado de copas. En función de su recurrencia dan lugar a estructuras forestales resistentes al fuego (Figura 14).

Figura 14. Efecto de un fuego de rayo en un bosque de pino laricio de Lladurs (Solsonès). Se pueden apreciar las heridas del rayo en dos de los árboles centrales. El fuego ha afectado, principalmente, al estrato herbáceo y arbustivo, y ha respetado la vitalidad de las copas del estrato arbóreo. Foto: Joan Rovira.

Generalmente, **las zonas con incendios forestales de baja recurrencia** contienen altas cargas de combustible, **arden con alta intensidad y afectan gravemente al ecosistema**, mientras que las zonas con incendios en regímenes de **fuegos naturales frecuentes** o en las que se llevan a cabo **quemas de gestión del combustible** (quemas prescritas o incendios gestionados) contienen poca carga de combustible y **arden con baja intensidad, lo que favorece la dinámica natural y la persistencia del ecosistema** (Agee, 1996).

Por lo tanto, los beneficios del fuego de baja intensidad en las estructuras forestales se pueden promover de dos modos distintos: mediante **quemas prescritas planificadas** en términos de extinción pasiva o activa, o bien a través del **seguimiento y la monitorización de incendios** (incendios gestionados) que, por su comportamiento de baja intensidad, estén generando un efecto con balance positivo en el hábitat, y para los que se adopta una estrategia de acompañamiento hasta unos límites de control preestablecidos.

Las quemas prescritas o los incendios gestionados son actuaciones con fuego de baja intensidad que permiten alcanzar un objetivo de gestión del ecosistema a través de la interacción del fuego (Figura 15). Muy a menudo, **estas quemas se utilizan en investigación** para ampliar los conocimientos sobre los efectos del fuego en la biodiversidad del sotobosque, así como en la reducción del combustible, el crecimiento y la estructura del estrato arbóreo. Esto se lleva a cabo por ejemplo mediante la monitorización de la quema para conocer su intensidad o velocidad de propagación, el análisis de los efectos de las quemas sobre la vegetación, la comparación de las situaciones anteriores y posteriores o el contraste de áreas quemadas con distintas intensidades.

a)

b)

c)

Figura 15. Ejemplos de quemas prescritas en bosques de pino laricio, llevadas a cabo en el marco del proyecto Life+ PINASSA.

a) Quema de gestión de bosques maduros en el Parque Natural del Montsant durante (izquierda) y tras (derecha) la aplicación del fuego. b) Quema de gestión para la prevención de incendios en Navès (Solsonès) durante (izquierda) y tras (derecha) la aplicación del fuego. c) Quema de gestión de restos de actuación selvícola en un bosque adulto de pino laricio en Llobera (Solsonès) antes de (izquierda) y tras (derecha) la aplicación del fuego. Fotos: AGS-CTFC y Bombers de la Generalitat.

2.2. Bosques de pino laricio adaptados a fuegos frecuentes de baja intensidad

Características de los bosques adaptados al fuego

Los bosques de pino laricio adaptados a fuegos frecuentes y de baja severidad suelen ser bosques maduros con un sotobosque poco abundante, sobre todo en lo que respecta a la altura, con discontinuidad vertical de los estratos de vegetación, con árboles de grandes dimensiones y copas elevadas, y con **menor densidad de arbolado y más abiertos** en cuanto a su cobertura arbórea. En comparación con otras estructuras forestales desarrolladas en ausencia de fuego, **los bosques maduros con recurrencia de fuegos tienen una menor densidad arbórea y una estructura más abierta formada por una cantidad superior de árboles grandes y viejos** (Figura 16). Además, la frecuente recurrencia de fuegos en estos bosques refuerza su **heterogeneidad espacial**, lo que potencia bosques con una elevada variedad de flora, fauna y procesos ecológicos a pequeña escala. La mezcla de espacios umbríos formados por grupos de árboles y pequeños espacios abiertos proporciona una elevada **biodiversidad a escala local**.

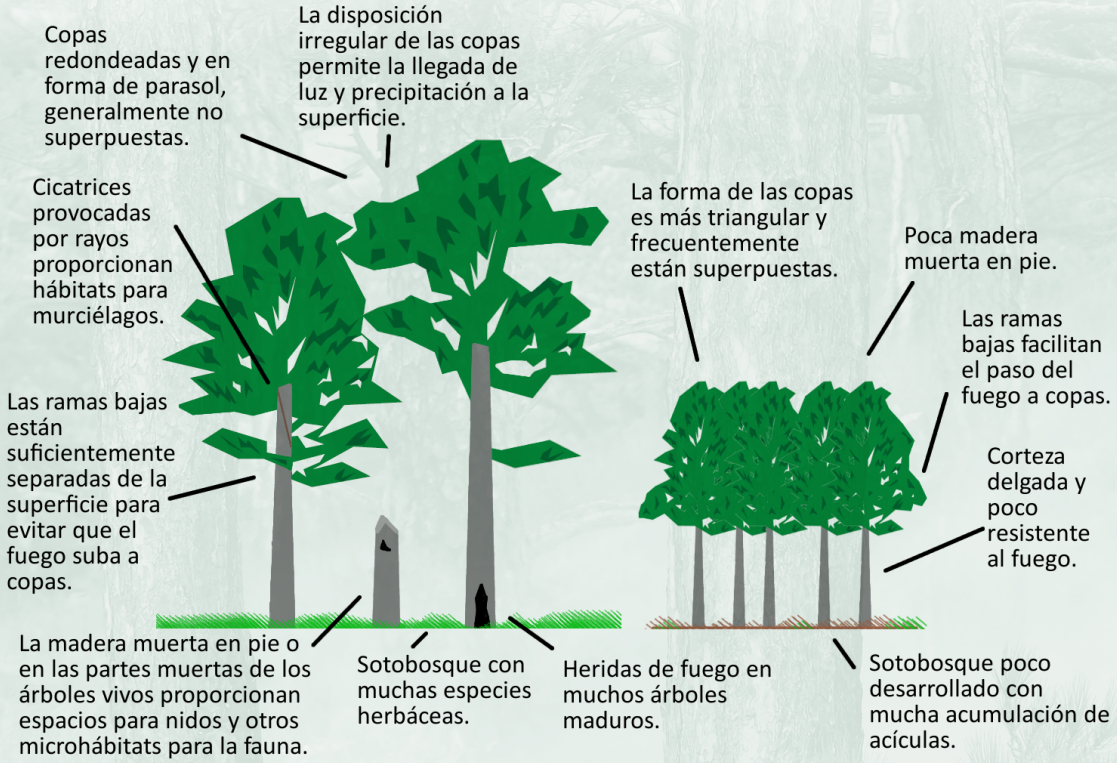


Figura 16. Principales características de los bosques maduros adaptados a la recurrencia de incendios en comparación con bosques jóvenes en ausencia de fuego. Adaptado de Binkley *et al.* (2007).

Otro elemento fundamental de estos bosques es la **madera muerta en pie o en el suelo** que contienen, acumulada a lo largo de muchos años y que presenta distintos estados de descomposición. Esta madera genera **cavidades que actúan de refugio** para muchas aves e insectos y funciona, además, como **sustrato** para musgos, hongos y bacterias.

En la actualidad, quedan pocos lugares en Catalunya con ejemplos de bosques maduros de pino laricio adaptados a la recurrencia del fuego (Figura 17). Su **distribución se ha reducido a zonas de difícil acceso**, zonas altas de crestas (divisorias) con humedades altas por efecto de la niebla, que a la vez coinciden con áreas donde tienen lugar frecuentes igniciones naturales por rayos. En estos lugares, los aprovechamientos de madera cesaron hace varias décadas, ya a principios del siglo xx, debido a las difíciles condiciones de accesibilidad. Sin embargo, el uso de pastoreo ha estado más presente, y son zonas, además, de alta frecuentación por fauna salvaje, dada la estructura del bosque. Hoy en día, estos bosques presentan **hábitats muy fraccionados en islas inconexas que dificultan su supervivencia.**

Figura 17. Pinos laricio adaptados a la recurrencia de incendios de baja intensidad, que se propagan por la superficie, en el Parque Natural de Els Ports. Se puede apreciar, en uno de estos ejemplares, una herida de fuego. Foto: Jordi Bas.

Proceso de adaptación de los bosques de pino laricio a los fuegos de baja intensidad

La formación de estos bosques requiere, primeramente, tiempo. Los bosques de pino laricio pueden tardar entre 150 y 200 años hasta que empiezan a mostrar todo el espectro de estructura y procesos de los bosques maduros (Figura 18 y Figura 19). Sin embargo, el tiempo no es suficiente para favorecer estas estructuras maduras. **Se necesita, además, que el sotobosque y la densidad de árboles de estas estructuras se regulen mediante perturbaciones.** Estas perturbaciones pueden ser de origen natural, como los fuegos de rayo y la fauna salvaje, o bien perturbaciones de origen antrópico, como las acciones del pastoreo y la selvicultura (ya sea con herramientas mecánicas convencionales o bien con quemas prescritas). Si el objetivo es acelerar las dinámicas naturales para lograr estructuras de bosques maduros, mediante la gestión forestal se puede incidir en mejorar los elementos clave y potenciar el crecimiento y la vitalidad de los árboles; en definitiva, avanzar hacia un mayor grado de madurez del bosque. Además, la gestión forestal (con uso del fuego o sin este) permite integrar la conservación del hábitat del pino laricio con la producción forestal, que en muchos casos será necesario compatibilizar por demanda de la propiedad en el marco de una gestión forestal multifuncional (Figura 20).

Figura 18. Aspecto general de un bosque de pino laricio con árboles de distintas edades y un sotobosque principalmente herbáceo en el Parque Natural de Els Ports. Foto: AGS-CTFC.

Figura 19. Estructura que combina árboles aislados, diseminados, y árboles formando grupos en el Parque Natural de Els Ports. Foto: Jordi Bas.

Figura 20. Gestión forestal en bosques de Llobera (Solsonès) donde se han llevado a cabo tratamientos selvícolas (claras y desbroces) (imágenes superiores) y quemas prescritas (imágenes inferiores) para obtener estructuras más resistentes al paso del fuego. A la izquierda, los rodales antes de aplicarse los tratamientos selvícolas o las quemas, a la derecha, después. Fotos: AGS-CTFC.

En ausencia de estos fenómenos antes expuestos, la densidad arbórea y el sotobosque tienden a permanecer altos (Figura 21) y la estructura forestal resultante, con continuidad vertical de vegetación, es muy vulnerable a generar grandes y devastadores fuegos que eliminan la mayoría de los árboles. En estos casos, cuando se produce un incendio, este se extiende con facilidad por el sotobosque, del sotobosque a las copas de los árboles más pequeños, con ramas bajas, y de los árboles más pequeños a las copas de los árboles adultos.

La composición, estructura y patrón espacial de los bosques adaptados a la recurrencia de los fuegos se mantiene mediante fuegos frecuentes y de baja intensidad, a través de una relación funcional entre el patrón y el proceso, es decir, **los fuegos frecuentes y de baja intensidad producen estructuras forestales que, a su vez, facilitan y favorecen los fuegos de baja intensidad** (Hiers *et al.*, 2009; Mitchell *et al.*, 2009). A lo largo del tiempo, mosaicos variables de grupos de árboles y árboles individuales de distintas edades han convivido en una matriz de prados gracias a la relación entre la intensidad y la frecuencia de los fuegos, la presencia de combustible de superficie y la regeneración de los árboles que sobreviven a los incendios (Larson y Churchill, 2012). Así, pues, un paisaje con mosaico, con combinaciones de distintos tipos de estructuras, con bosques jóvenes, adultos, maduros, espacios abiertos y regenerados, es una buena estrategia para crear bosques y paisajes adaptados al fuego.

En este contexto, es muy importante **asegurar unos niveles mínimos de regeneración**, para garantizar la persistencia de la masa y esta estructura en mosaico, con grupos de árboles, árboles aislados y rodales. La regeneración del pino laricio tiene lugar cuando las condiciones son favorables, con precipitaciones y semillas viables, y normalmente en forma de grupos de árboles abundantes o bosquetes. Los incendios superficiales que se repiten a los pocos años o décadas eliminan la mayoría de los árboles pequeños que han logrado establecerse durante los últimos años. Los árboles que sobreviven al paso del fuego, los más dominantes y vitales, experimentan una menor competencia por la luz y la humedad de suelo, lo que les otorga una mayor resistencia ante posteriores incendios superficiales.

Figura 21. Estructura forestal con distintos estratos de copas e individuos de distintas edades en el Parque Natural de Els Ports, donde los más jóvenes crecen bajo los más adultos. En este caso, el sotobosque de boj (*Buxus sempervirens*) empieza a ser bastante abundante debido a la eliminación del fuego de rayos y del pastoreo. Foto: Jordi Bas.

Importancia de los bosques maduros de pino laricio

A corto plazo, los bosques de pino laricio son muy frágiles tras haber sufrido un gran incendio, debido a su dificultad de regeneración en espacios muy abiertos y por no presentar piñas serótinas. Por ello, tras incendios catastróficos, como consecuencia de largos periodos de tiempo de eliminación del fuego y/o abandono de la gestión y de los usos tradicionales, en combinación con condiciones climáticas extremas, la resiliencia de los bosques de pino laricio se ve comprometida.

Los bosques maduros adaptados a la recurrencia de los fuegos son una de las mejores garantías para evitar grandes y devastadores incendios forestales, así como para conservar el hábitat de pino laricio. Además, representan una oportunidad para estudiar el funcionamiento, los procesos y la estructura que caracterizan a este tipo de bosques. Revistas antiguas, fotografías u otros documentos en archivos (un buen ejemplo de ello es la recopilación llevada a cabo por Pellisa, 2003) aportan información adicional sobre el tamaño y el número de árboles existentes antes de los cambios en los usos del paisaje. Asimismo, el uso de técnicas, como la dendrología (Figura 22) o el estudio de la madera muerta en pie y en el suelo, presente en la actualidad, permite indagar en el funcionamiento y los procesos acaecidos para alcanzar la estructura de bosque maduro actual.

Figura 22. La extracción de cores (o bastones de crecimiento) en bosques de pino laricio permite conocer el régimen de fuego y el efecto de los incendios y de las sequías en el crecimiento de los pinos laricio. Foto: AGS-CTFC.

2.3. Efectos del fuego sobre la vegetación y la fauna

Efectos del fuego sobre la vegetación

El efecto del fuego sobre las plantas varía según su escala de organización. Las plantas, a escala individual, pueden sobrevivir si evitan el daño durante la combustión, pero a escala poblacional las plantas persisten a través de la supervivencia de individuos o la regeneración a partir del banco de semillas (Figura 23). Las comunidades y los ecosistemas se someten a la sucesión tras el fuego, y este remodela la estructura de mosaico del paisaje.

Asimismo, las propiedades del fuego (intensidad, duración, etc.) tienen distintos efectos en las plantas, e interactúan con las diferentes estrategias que estas presentan para sobrevivir o recolonizar terrenos quemados. El fuego puede provocar una mortalidad inmediata importante, incluso de especies leñosas.

La respuesta de la vegetación al fuego, a escala de paisaje, depende del régimen del fuego, que juega un papel muy importante en la conformación del paisaje. La variación en la frecuencia temporal de los incendios, en el espacio y en la intensidad (alta, media o baja) dibuja distintos tipos de áreas en el territorio. Martin y Sapsis (1991) argumentaron que la diversidad en los regímenes de incendios (pirodiversidad) promueve la biodiversidad en ambientes donde el fuego es una perturbación clave. Según esta hipótesis, una mayor variación temporal y espacial de los incendios produce una mayor variedad de nichos ecológicos y, de este modo, favorece la coexistencia de más especies y, sobre todo, distintas combustibilidades y diferentes clases de edad. A consecuencia de ello, la resiliencia de la población se ve muy ampliada.

En los matorrales mediterráneos, la variación temporal del fuego puede favorecer o perjudicar determinadas especies. El tiempo hasta la madurez reproductiva y la senescencia se puede utilizar para estimar los intervalos de tiempo óptimos entre los fuegos que favorecen la biodiversidad (Kelly y Brotons, 2017).

En las áreas donde se han abandonado las actividades agrícolas tradicionales, el fuego se está convirtiendo, progresivamente, en el factor clave para el mantenimiento de zonas abiertas. La heterogeneidad a escala de paisaje puede resultar crucial para el mantenimiento de las especies de hábitats abiertos asociadas a las perturbaciones que las mantienen. Las tendencias actuales de cambios en el paisaje apuntan hacia una progresiva homogeneización y forestación que probablemente conducirá a una disminución gradual en la disponibilidad de áreas para las especies de hábitats abiertos (Brotons *et al.*, 2005). La biodiversidad puede beneficiarse de la variación en régimen de incendios, efectuada a medida para satisfacer las necesidades de especies y ecosistemas particulares.

Figura 23. Rebrote de palmito (*Chamaerops humilis*) tras un incendio en el Parque Natural del Garraf. Foto: Bombers de la Generalitat.

Efectos del fuego en la fauna

Los animales también muestran una serie de habilidades para hacer frente al fuego, y muchos lo necesitan para su supervivencia. Estos deben evitar, en todo momento, la exposición al fuego o al calor intenso, con la movilidad como principal capacidad de respuesta.

El grupo de animales más estudiado para valorar los efectos del fuego tanto de alta como de baja intensidad son las aves. Aunque las aves son vulnerables a la hora de anidar, en general pueden escapar de un incendio,

y a menudo se benefician de este capturando presas que huyen del incendio y, después, volviendo a colonizar rápidamente las áreas quemadas. Son numerosos los estudios que constatan un incremento en la riqueza de aves tras un incendio, en los años posteriores al fuego (Taylor, 1971, 1973; Pons *et al.*, 2003), sobre todo por la ocupación de espacios abiertos favorables para muchas especies. Tras los incendios, en las aves se han observado distintos comportamientos, como la resistencia a abandonar los antiguos territorios, la flexibilidad para adaptarse a las nuevas condiciones del hábitat, un modesto efecto del fuego en la demografía de numerosas especies y la improbabilidad de la colonización a largas distancias.

Las áreas quemadas ofrecen espacios de recolonización para muchas especies, que pueden moverse de un lugar a otro en busca de las áreas que les aporten mayores beneficios. En las áreas quemadas, en los árboles muertos que permanecen en pie o en tierra tras un incendio, muchas aves encuentran alimento y refugio.

Por otra parte, los mamíferos son, a menudo, capaces de huir de un incendio o de buscar refugio en guaridas u otros lugares. Los anfibios y los reptiles pueden evitar las llamas enterrándose en el suelo, o bien utilizar las guaridas de otros animales. Los anfibios, en particular, se pueden refugiar en agua o fango muy húmedo. Los microorganismos del suelo varían en su tolerancia al calor, pero son más propensos a sobrevivir a un incendio los que se encuentran a mayor profundidad del suelo. Un aumento de los nutrientes disponibles tras un incendio (Alcañiz *et al.*, 2016) da lugar a comunidades microbianas más grandes que las existentes antes del fuego. En general, la mayor tolerancia al calor de bacterias en relación con los hongos permite que la diversidad de la población microbiana del suelo cambie tras un incendio, dependiendo de la gravedad del fuego, la profundidad de los microbios en el suelo y la presencia de cubierta vegetal.

A escala de paisaje, la variación temporal y espacial de los incendios tiene un efecto, además, en la biodiversidad faunística. La variación en la intensidad del fuego crea hábitats a escala local y regional únicos, incluyendo áreas con distinto porcentaje de cobertura de árboles que favorecen la biodiversidad de aves. Un estudio realizado en California sobre cómo la variación en el régimen del fuego modifica la biodiversidad de las aves muestra que los bosques de coníferas con elevada variación de severidades (alta, media y baja) del fuego son críticos para mantener la biodiversidad de las aves (Tingley *et al.*, 2016). El conocimiento de cómo los animales reciben la influencia de la diversidad, el tamaño y la severidad del fuego puede resultar útil en la gestión para la conservación.

2.4. Relación fuego-estructura forestal

La estructura forestal está determinada por la distribución de la vegetación o combustible que forma parte de ella. El combustible se puede encontrar en múltiples combinaciones de tipo, cantidad, tamaño, forma, posición y distribución. El combustible de un determinado lugar puede ser principalmente herbáceo o estar configurado por restos y troncos gruesos, puede consistir en copas densas de coníferas, capas gruesas de hojarasca, una densa acumulación de restos muertos en el suelo o la mezcla de cualquiera de estos elementos. Esta estructura forestal condicionará la propagación y el comportamiento del fuego, por lo que los incendios forestales se pueden clasificar según el estrato de vegetación por el que se propagan (Figura 24):

- Fuego de superficie: la llama se propaga a través de los combustibles de superficie y por el sotobosque de mayor altura.
- Fuego de copas: iniciado como consecuencia del calor de convección que transmite el fuego de superficie a las copas de los árboles (Wagner, 1977). Incluye dos subgrupos:
    - Pasivo: las copas arden individualmente; el calor de convección no es suficiente para mantener la propagación entre copas.
    - Activo: el fuego se propaga por las copas y por la superficie de forma continua, pero necesita el calor de convección para mantener esta propagación entre las copas.

El fuego de copas activo es el que representa la mayor amenaza para la supervivencia de los bosques de pino laricio y para los sistemas de extinción, ya que genera intensidades de fuego y velocidades de propagación muy altas, focos secundarios masivos y longitudes de llama elevadas.

Para describir el comportamiento del fuego, a menudo se utiliza el término **combustible**, referido a todo el material orgánico, vivo o muerto, que puede entrar en ignición y arder.

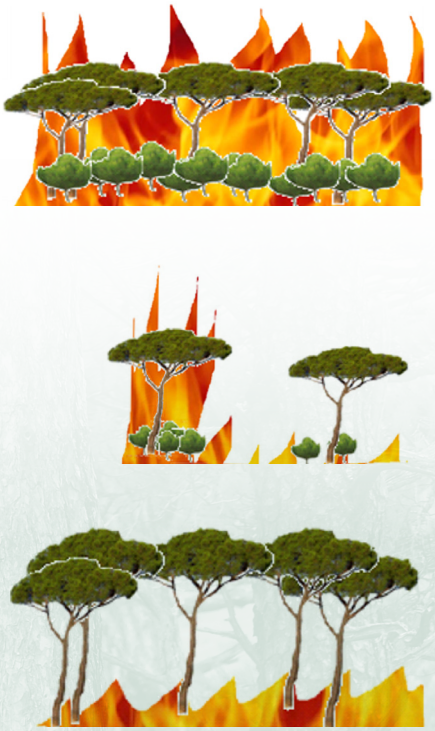


Figura 24. Tipos de incendios según el estrato de vegetación por el que se propagan. Figuras de Piqué *et al.* (2011).

Para caracterizar la vulnerabilidad de un rodal forestal, Piqué *et al.* (2011) han desarrollado unas claves que permiten determinar la vulnerabilidad de una estructura a generar fuegos de copas (CVFoC, por sus siglas en catalán), diferenciando entre estructuras A (muy vulnerables a la generación de fuegos de copas), estructuras B (moderadamente vulnerables) y estructuras C (muy poco vulnerables, en las que, dada una ignición, el fuego se mantendrá en superficie). Estas claves son, también, de aplicación en los bosques de pino laricio y se basan en las coberturas de los principales estratos de vegetación y las distancias entre ellos (Figura 25). En general, los principales estratos de vegetación que actúan de combustible para el fuego son los estratos de combustible aéreo, de escala, de superficie y del suelo (Figura 26):

- **El combustible aéreo** está formado por las copas de los árboles del estrato dominante y codominante de mayor altura. La apertura de las copas y su densidad influyen en el tipo de incendio que se puede producir. Por ejemplo, cuando las copas están abiertas, el viento tiende a penetrar hacia la superficie, lo que puede producir fuegos de superficie más rápidos e intensos. Sin embargo, con copas abiertas y en ausencia de viento, la propagación activa por copas es más difícil.
- **El combustible de escala** es toda la vegetación que se sitúa por encima de 1,3 m y que no forma parte del estrato dominante o codominante de árboles, e incluye pequeños árboles, arbustos, lianas o árboles caídos. Debido a su posición entre el combustible de superficie y el de copas, tiene una gran relevancia en el paso del fuego de superficie a las copas.
- **El combustible de superficie** es todo aquel material situado inmediatamente por encima del suelo hasta 1,3 m y está formado por matorral, vegetación herbácea, restos, hojarasca o árboles caídos. Si no está cubierto por combustible, se ve afectado directamente por el viento y la radiación solar. Los combustibles de superficie son los que se consumen principalmente en un fuego prescrito, se consideran el tipo de combustible más importante y se describen más detalladamente. La carga, la relación superficie-volumen, la compactación, la composición química y la humedad son las características del combustible de superficie que más afectan al comportamiento del fuego.
- **El combustible del suelo** es todo el material que se encuentra sobre la superficie, incluyendo el humus, raíces, troncos enterrados en descomposición y otros combustibles leñosos. Debido a su compactación, los incendios que se producen en este tipo de combustible son incendios de propagación muy lenta y sin llama.

Figura 25. Ejemplos de continuidad vertical y horizontal en bosques de pino laricio. Las estructuras de tipo A son muy vulnerables a generar fuegos de copas, las de tipo B son medianamente vulnerables y las de tipo C son muy poco vulnerables. Fotos: AGS-CTFC.

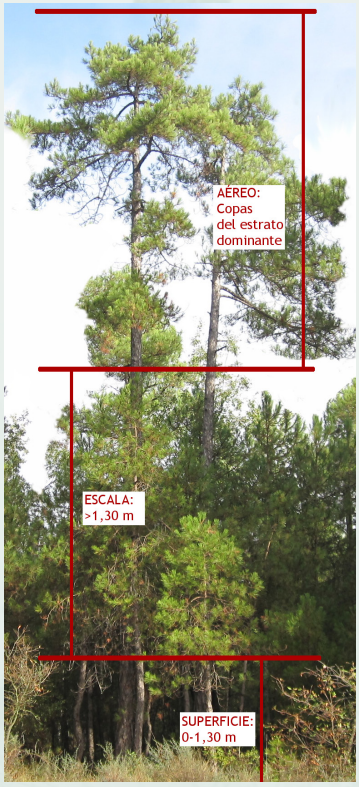


Figura 26. Distribución y definición de los tipos de estratos de vegetación o combustibles que caracterizan las estructuras forestales (Beltrán *et al.*, 2012).

Los bosques con escasa acumulación de vegetación y las estructuras forestales con discontinuidad vertical y horizontal son más resistentes al paso del fuego en las copas, por lo que dificultan la propagación y reducen la intensidad de los incendios forestales.

La disposición vertical determina el estrato que se verá involucrado en el incendio. Cuando existe continuidad vertical, el incendio puede llegar fácilmente a las copas y pasar a configurar un incendio mucho más intenso. La intensidad del fuego de superficie y la humedad del combustible vivo normalmente determinan si el fuego ascenderá a las copas a través del combustible de escala.

La disposición horizontal facilita la propagación de un incendio. En áreas claras, la propagación será más difícil que en áreas donde el combustible se reparte de un modo continuo y uniforme, y normalmente requerirán vientos más fuertes y focos secundarios para propagarse. En el caso de las copas cerradas, estas reducen el paso del viento, incrementan la humedad del combustible de superficie y reducen la proliferación del sotobosque. Sin embargo, una vez que el fuego ha pasado a las copas, este se propaga más rápido que en copas más abiertas.

Las principales características que determinan el paso del fuego a copas y su intensidad y propagación son las siguientes:

- **Fracción de cabida cubierta**, que permite averiguar la continuidad horizontal del estrato de copas.
- **Altura de la base de la copa**, definida como la altura a partir de la cual hay suficiente combustible de copa para que se propague el fuego verticalmente a través de esta (Scott y Reinhardt, 2007).
- **Carga de combustible de superficie**, o la cantidad de combustible presente por unidad de superficie (t ha^{-1}). El combustible que principalmente participa en la combustión es el combustible fino muerto (separado entre < 0,6 cm; 0,6-2,5 cm; y 2,5-7,6 cm de diámetro), pero también contribuye a esta el combustible fino vivo.
- **Altura del combustible de superficie**, que, junto con la carga de combustible, determina la compactación del combustible. Si está muy compactado, habrá poco oxígeno y la combustión será más difícil.
- **Densidad aparente del combustible de copas**, que aporta información acerca de la compacidad del combustible en las copas y sobre cómo este se reparte en las copas.
- **Distancia entre estratos**, es decir, la diferencia entre la base de las copas arbóreas y la altura media del estrato de superficie, que puede estar compuesto por hojarasca, estrato herbáceo y estrato arbustivo. Aporta información sobre la continuidad vertical. Cuanto mayor sea la diferencia, más difícil le resultará al fuego alcanzar las copas.

Como se ha comentado, de los distintos tipos de incendios forestales posibles, los incendios de copas, a menudo intensos y de rápida propagación, son los que presentan una mayor amenaza, y reto, para los equipos de extinción y gestores. La continuidad vertical de la vegetación facilita considerablemente que el fuego llegue a las copas y, a partir de aquí, se puede propagar de copa en copa de forma activa. Por lo tanto, si se rompe esta continuidad estructural, se espera una disminución en la vulnerabilidad a los incendios activos (Fulé *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2004; Agee y Skinner, 2005; Johnson *et al.*, 2007).

La interacción entre la **meteorología, la topografía y la vegetación** (el combustible) determina cómo se propaga un incendio y si este se puede convertir en un gran incendio forestal (Rothermel, 1983). De estos parámetros, la vegetación es el único sobre el que se puede actuar directamente, con el objetivo de influir en la propagación del fuego. Las actuaciones selvícolas estratégicas, a escala de rodal, orientadas a aumentar la altura de la base de la copa, a reducir la carga de combustible superficial y/o a reducir la densidad de árboles deberían disminuir la vulnerabilidad de los rodales forestales y facilitar las tareas de extinción (Agee, 1993; Graham *et al.*, 2004) (Tabla 1).

Principio	Efecto	Ventajas	Inconvenientes
Reducir el combustible de superficie	Reduce la longitud potencial de la llama	Control fácil de un fuego potencial, menor antorcheo	Reducción de la diversidad del sotobosque
Aumentar la distancia entre las copas	Requiere una longitud de llama superior para el antorcheo	Menor posibilidad de antorcheo	La apertura del sotobosque puede producir un incremento del viento en superficie
Disminuir la densidad de las copas	Disminuye la probabilidad de transmisión del fuego de un árbol a otro	Reduce el potencial de un fuego activo de copas	El viento en superficie se puede incrementar y el combustible de superficie puede presentar mayor sequedad
Mantener los árboles grandes de las especies resistentes	Menor mortalidad para la misma intensidad de fuego	Generalmente, restaura la estructura histórica	Menor productividad económica del bosque; puede mantener árboles en riesgo por insectos

Tabla 1. Factores que incrementan la resiliencia al fuego. Adaptado de Brown *et al.* (2004).

2.5. Simulación del comportamiento del fuego

Los simuladores son útiles herramientas para el estudio de la relación entre la estructura forestal y el comportamiento del fuego (por ejemplo, velocidad de propagación del fuego, longitud de llama, etc.). La elevada variabilidad en la forma, tamaño, cantidad, posición, tipo y distribución del combustible requiere organizar la información mediante modelos de combustible para la utilización de las herramientas de simulación. Los modelos de combustible incluyen simplificadamente toda la información necesaria para caracterizar el combustible de superficie, como las cargas (t ha^{-1}) o la altura del estrato de superficie (m), entre otros aspectos. Dentro de estos modelos, cabe citar los modelos de combustible estándar, que describen distintos tipos de estructuras básicas (Anderson, 1982 o Scott y Burgan, 2005) y los modelos de combustible propios elaborados con muestreos de campo específicos, como los que se presentan en la Tabla 2, en este caso, obtenidos en el marco del proyecto Life+ PINASSA para bosques de pino laricio. Los modelos de combustible que se presentan en esta tabla se refieren a bosques de pino laricio relativamente jóvenes, entre los 40-80 años de edad, en los que se han llevado a cabo actuaciones forestales para reducir la propagación de fuegos de copas, ya sea con tratamientos mecánicos convencionales o con quemas prescritas directamente (sin tratamientos previos). La Tabla 2 muestra las características del rodal antes y a los dos años del tratamiento, así como los resultados de la simulación del comportamiento del fuego para cada caso. La tabla 3 presenta las principales características dasométricas de estos rodales.

Municipio (comarca)	Tratamiento	Carga de combustible (t ha^{-1})								Altura (m)	R (m min^{-1})	FL (m)
		Humus	Hojarasca	1 h	10 h	100 h	Lh	Lw	Total			
Navès (Solsonès)	Antes del tratamiento	16,43	2,66	1,37	0,68	0,00	1,03	3,56	25,73	1,16	11,6-15,6	11,3-12,7
	Dos años después del tratamiento mecánico	11,61	2,99	5,66	8,01	5,30	0,13	1,83	35,53	0,30	2,9-3,2	1,5-1,6
	Dos años después del tratamiento con quema	14,52	1,04	2,24	2,16	0,41	1,26	0,79	22,43	0,31	3,2-3,8	1,0-1,3
Llobera (Solsonès)	Antes del tratamiento	17,49	2,21	2,58	0,72	0,00	3,83	7,50	34,34	1,17	9,6-12,5	6,2-10,0
	Dos años después del tratamiento mecánico	15,57	2,49	6,78	10,60	3,31	0,83	0,51	40,10	0,27	2,5-3,2	1,4-1,5
	Dos años después del tratamiento con quema	16,44	1,79	2,47	4,64	0,00	0,37	1,66	27,37	0,34	3,7-5,5	1,4-1,7

Tabla 2. Modelos de combustible de rodales de pino laricio elaborados en el marco del proyecto Life+ PINASSA. 1 h: carga de combustible de 1 h (con un diámetro inferior a 6 mm); 10 h: carga de combustible de 10 h (con un diámetro de 6 a 25 mm); 100 h: carga de combustible de 100 h (con un diámetro de 25 a 76 mm); Lh: carga de combustible herbáceo vivo; Lw: carga de combustible leñoso vivo. R: velocidad de propagación; FL: longitud de la llama.

Municipio	Tratamiento	FCC (%)	N (pies ha^{-1})	AB (m^2 ha^{-1})	Do (cm)	Hm (m)	Hrama (m)	ACBD (kg m^{-3})	Rec_arbustivo (%)
Navès (Solsonès)	Antes del tratamiento	90	1.910	27,6	23,6	8,9	4,6	0,38	31
	Dos años después del tratamiento mecánico	81	1.496	23,1	24,6	10,1	5,3	0,29	18
	Dos años después del tratamiento con quema	89	1.602	25,9	24,1	9,2	4,8	0,31	6
Llobera (Solsonès)	Antes del tratamiento	89	1.341	26,9	23,8	9,1	4,8	0,29	72
	Dos años después del tratamiento mecánico	83	1.188	24,0	30,0	10,1	5,3	0,23	20
	Dos años después del tratamiento con quema	78	1.178	25,4	28,3	9,8	5,1	0,22	14

Tabla 3. Características dasométricas de rodales de pino laricio obtenidas en el marco del proyecto Life+ PINASSA. FCC: fracción de cabida cubierta; N: densidad arbórea; Dg: diámetro medio cuadrático; AB: área basal; Do: diámetro medio de los 100 árboles más grandes; Hm: altura media; Hrama: altura media de la primera rama viva; ACBD: densidad aparente de copa disponible; Rec_arbustivo: cobertura arbustiva media.

Cuando se comparan estructuras con sotobosque de poca altura, normalmente herbáceo, frente a estructuras con densidad de pies elevada y sotobosque denso y alto, los simuladores aportan una idea del comportamiento de un potencial incendio. En la tabla 2, con unas condiciones meteorológicas y topográficas características de los incendios de la zona (Piqué y Domènech, 2018), se observa que en los rodales de pino laricio donde se han llevado a cabo tratamientos, ya sean tratamientos mecánicos convencionales o quemas prescritas, se reduce considerablemente tanto la velocidad de propagación (inferior a 4-5 m s^{-1}) como la longitud de la llama (inferior a 1,7 m) de un potencial incendio.

Otras simulaciones realizadas para evaluar el comportamiento del fuego en bosques de pino laricio del Solsonès, con elevada continuidad vertical y horizontal en cuanto a los estratos de vegetación y modelos de combustible con cargas elevadas, en los que se han llevado a cabo tratamientos de desbroce y clara baja mecánicamente, con eliminación de restos sin quemas prescritas y con ellas, muestran también que las quemas reducen considerablemente el comportamiento de un potencial incendio (Figura 27) (Piqué y Domènech, 2018). En este trabajo se observa que la velocidad de propagación, la longitud de la llama y la

intensidad del fuego experimentan reducciones de más del 90% con las quemas (la velocidad de propagación, de 8 m min^{-1} antes de la quema a 1 m min^{-1} después de esta; la longitud de la llama, de 8 m a 0,6 m; y la intensidad, de más de 5.000 kW m^{-1} a menos de 100 kW m^{-1}).

Las quemas reducen el combustible de superficie (lo que disminuye la intensidad y la longitud de llama de un potencial incendio de superficie); aumentan la distancia entre el combustible de superficie y el de copas (dificultando el paso del incendio a copas); y causan una poda térmica de las copas, lo que reduce su densidad aparente (en caso de que el incendio pudiera alcanzar las copas, sería difícil que se propagara activamente).

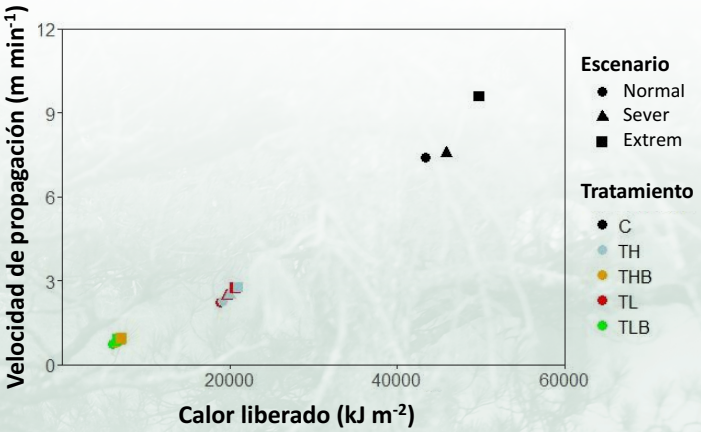
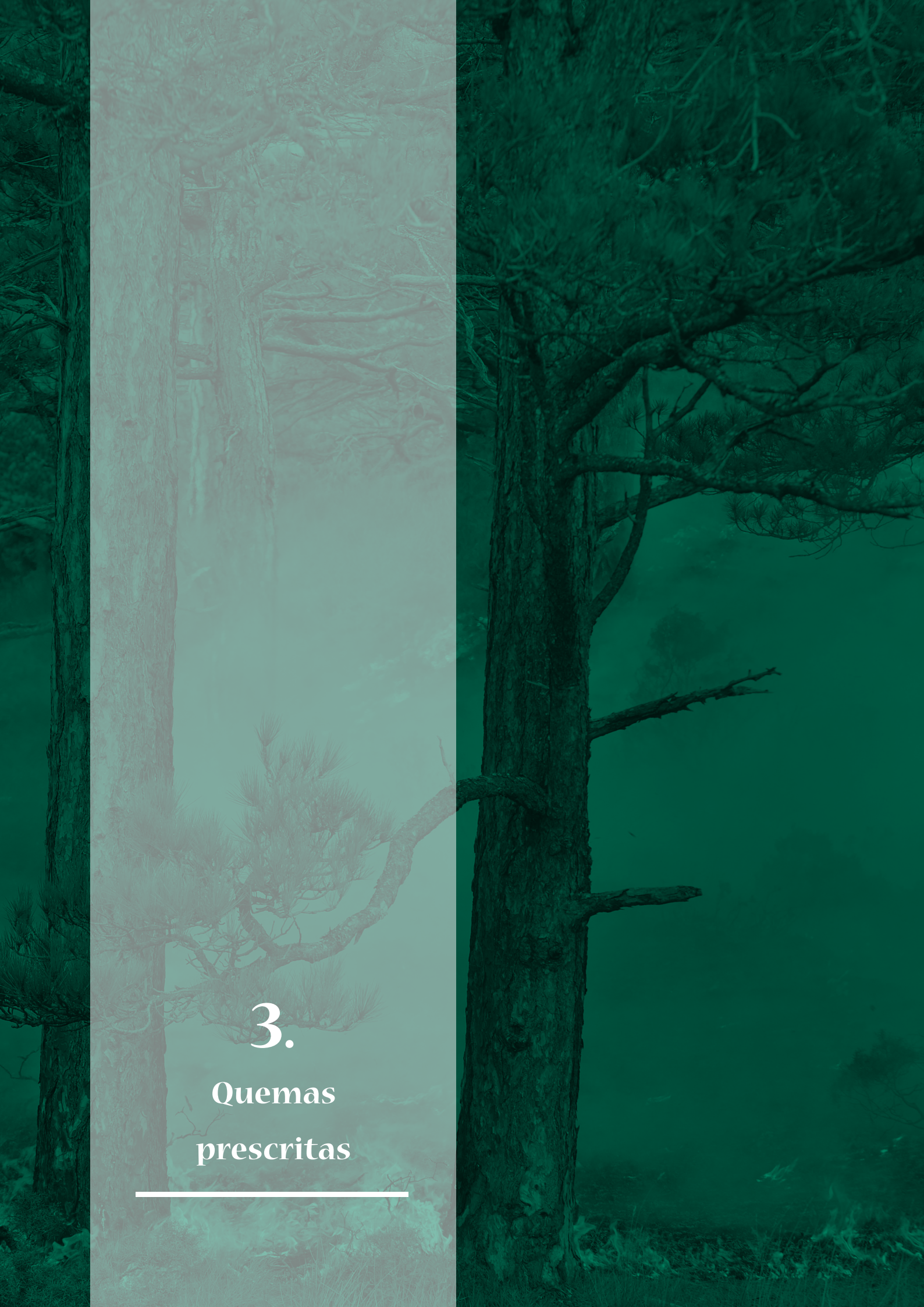


Figura 27. Velocidad de propagación del fuego y calor liberado en rodales forestales de pino laricio donde se han llevado a cabo distintos tratamientos (C: sin tratamiento; TH: clara fuerte y triturado de restos; THB: clara fuerte y quema de restos; TL: clara suave y triturado de restos; TLB: clara suave y quema de restos), teniendo en cuenta distintos escenarios meteorológicos (normal, severo, extremo).

El comportamiento del fuego difiere significativamente entre un incendio de superficie o un incendio que se propaga activamente por las copas. Dependiendo de la intensidad del fuego, los incendios serán más o menos controlables por los medios de extinción y los efectos sobre los ecosistemas serán menores o mayores. En cualquier caso, estructuras con cargas de combustible bajas o sin combustible de escala, y con copas bien separadas de la superficie, ofrecerán mayores oportunidades de control del fuego a los medios de extinción y generarán fuegos de superficie de baja intensidad, que pueden tener efectos positivos sobre el ecosistema.



3.

Quemas prescritas

3. Quemas prescritas

3.1. ¿Qué son las quemas prescritas?

Quemas prescritas en un contexto global

En Europa, **el fuego** ha sido un elemento importante para **la agricultura, la caza, el pastoreo y la gestión forestal**. El uso del fuego ha modelado los patrones de paisajes y ha aportado diversidad ecológica y cultural.

Los rápidos cambios socioeconómicos acaecidos tras la Segunda Guerra Mundial en Europa comportaron, además, cambios en los patrones y usos del paisaje. Debido a los nuevos estándares de calidad del aire y a una opinión generalizada prevalente que creía que el fuego dañaba la estabilidad de los ecosistemas y su biodiversidad, las administraciones públicas **impusieron prohibiciones en el uso del fuego en la mayoría de países europeos**. Durante la segunda mitad del siglo xx, el uso tradicional del fuego se mantuvo en pocos lugares, como en Escocia, donde se utilizaba para mantener el hábitat del urogallo, o en Finlandia, como herramienta de gestión forestal.

A partir de los años setenta del siglo pasado, resultó cada vez más evidente que **el abandono de los métodos tradicionales de uso del paisaje había provocado la eliminación de las perturbaciones**, que habían configurado muchos tipos de paisajes y valiosos ecosistemas. El cambio de paradigma en la ecología y la conservación han conducido a una reconsideración de las políticas de eliminación del fuego en determinados sectores como el de la conservación, la caza y la gestión forestal. La existencia de distintos proyectos de investigación en quemas prescritas y el renacimiento de las prácticas del uso del fuego tradicional indican una restauración del rol funcional del fuego en la gestión ecosistémica y paisajística.

En los Estados Unidos, el uso del fuego tuvo su fin a principios del siglo xx, cuando se promulgaron políticas contra incendios con el objetivo de suprimir todos los incendios. Desde 1995, el Servicio Forestal de los Estados Unidos ha incorporado lentamente quemas prescritas como herramienta en sus políticas de gestión forestal.

El *Pinus ponderosa* ocupa un rol similar al del pino laricio (Agee, 1993) en las zonas interiores del oeste de los Estados Unidos, principalmente en la media montaña de las zonas interiores, donde la sequía, el fuego y el pastoreo de grandes mamíferos son los elementos perturbadores más destacados que hacen evolucionar su ecosistema. Asimismo, su régimen de fuego oscila entre los 5 y los 35 años, y se regenera por bosquetes para formar bosques viejos abiertos. Décadas con una política activa de lucha contra el fuego y una práctica selvícola que no integraba las perturbaciones como elementos gestores llevaron a estos bosques a una situación de retroceso, principalmente por los grandes incendios forestales sufridos en el contexto del cambio global. En la actualidad, el uso del fuego extensivamente en forma de quemas es la herramienta básica de restauración de los bosques para alcanzar la sostenibilidad.

Objetivos de las quemas

Las quemas prescritas son **la aplicación planificada y precisa del fuego en unos combustibles vegetales específicos** y bajo **determinadas condiciones meteorológicas** para lograr unos **objetivos de gestión forestal específicos**. Las quemas prescritas pueden servir tanto para limitar el alcance de grandes incendios forestales formando parte de la planificación de los ámbitos de la preextinción y la prevención, como para emular procesos naturales que permitan mantener la capacidad biológica de los ecosistemas.

Los principales objetivos de las quemas prescritas son los siguientes:

Protección del ecosistema ante el riesgo de incendios devastadores (Figura 28)

- Eliminar la carga de combustible vegetal que podría, en caso de incendio, incidir en la propagación de fuegos destructivos y con devastadores efectos sobre la vegetación y la fauna.
- Restaurar y mantener la estructura pirorresistente. Por ejemplo, con el mantenimiento de estructuras en las que se limite la carga de combustible disponible.
- Transformar las estructuras forestales para facilitar el control de grandes incendios forestales en áreas estratégicas y reducir su impacto. Crear un mosaico en el paisaje que combine estructuras con distinta vulnerabilidad al fuego.

Figura 28. Quema en Mola Castellona (Parque Natural de Els Ports), llevada a cabo en el marco del proyecto Life+ PINASSA. Fotos: Jordi Bas y Bombers de la Generalitat.

Restauración y mejora de hábitats de fauna (Figura 29)

- Mantener pastos para grandes herbívoros.
- Abrir la masa forestal; crear espacios abiertos para ornitofauna, por ejemplo, para rapaces.
- Mejorar las zonas de anidación, por ejemplo, en el caso de las quemas de regeneración de carrizales en el delta del Ebro.

Figura 29. Quemas de gestión en el Parque Natural del Delta de l'Ebre para gestionar y favorecer espacios de anidación (izquierda), y quema de pastos en la Collada de Toses (Ripollès) (derecha). Fotos: Bombers de la Generalitat.

Gestión de la vegetación y su sucesión vegetal

- Favorecer determinadas especies. La intensidad del fuego, la época del año y la recurrencia de aplicación del fuego son los principales parámetros que condicionan la capacidad de respuesta de unas especies frente a otras. Las estrategias vitales de las diseminadoras y las rebrotadoras son distintas ante el fuego y esto permite establecer un patrón de aplicación de la quema prescrita que condicione la capacidad de respuesta de cada especie o grupos de especies. Estas pautas, conocidas por los pastores, han marcado el patrón tradicional de las quemas para favorecer las gramíneas ante rebrotadoras como la aulaga. La época del año, la recurrencia y el patrón de ignición y conducción de la quema forman parte del conocimiento popular para favorecer las especies más palatables para el ganado.
- Proteger especies sensibles ante la invasión de otras. Por ejemplo, la protección de los sabinares (*Juniperus phoenicea*) en las crestas calcáreas, o de pino laricio en el área meridional de Catalunya, donde ha quedado limitada a crestas remotas ante la proliferación de pinares de pino carrasco o de maquias.

Gestión selvícola (Figura 30 y Figura 31)

- Favorecer procesos de aclareo y mejora del crecimiento del arbolado, a través de la mortalidad por afectación en el cámbium de los árboles más dominados y menos vitales.
- Eliminar el combustible de superficie y de escala para reducir la vulnerabilidad al fuego de copas.
- Elevar las copas a la parte alta del tronco con la poda térmica.
- Propiciar la regeneración de las especies adaptadas al fuego de baja intensidad.
- Eliminar restos de tratamientos selvícolas para reducir el riesgo de propagación del fuego y favorecer el reciclaje de nutrientes.

Figura 30. Quema de los restos de claras en bosques de pino laricio en Llobera (Solsonès), llevada a cabo en el marco del proyecto Life+ PINASSA. Foto: Bombers de la Generalitat.

Figura 31. Quema bajo arbolado en bosques de pino laricio en Colldejou (Baix Camp), efectuada en el marco del proyecto Life+ PINASSA. Foto: Bombers de la Generalitat.

La introducción de las quemas prescritas en los países del sur de Europa se llevó a cabo con el objetivo de reducir el riesgo de incendios forestales. La experiencia adquirida en estas prácticas ha posibilitado la ampliación de los objetivos hacia otros objetivos de gestión como la conservación de espacios naturales, la gestión forestal o la recuperación de la fauna (Lázaro y Montiel, 2010).

¿Cómo se llevan a cabo las quemas prescritas?

Las quemas se basan en **la ejecución de fuego de baja intensidad**, fuego que se desarrolla, en todo momento, de **forma conducida**, siguiendo un patrón de ignición que no permita la propagación descontrolada del fuego.

Las quemas se ejecutan obedeciendo a un **plan de quema** previamente diseñado y aprobado, donde se especifica, claramente, la **ventana de prescripción**, es decir, el conjunto de condiciones meteorológicas, topográficas y de combustible que se deben cumplir para la consecución de los objetivos establecidos por la quema de forma segura y controlada. En el plan de quema se especifican **los objetivos de la quema, la ventana meteorológica de prescripción, los trabajos previos de acondicionamiento, los recursos necesarios y las particularidades de la ignición**, entre otros. Es imprescindible que las quemas las planifique y ejecute personal especializado. En Catalunya, las quemas prescritas las llevan a cabo unidades especializadas de la Administración de los departamentos de Agricultura e Interior de la Generalitat de Catalunya.

La ventana de prescripción determina unos rangos meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), de humedad del combustible (vivo y muerto, por diámetro) y de comportamiento del fuego (velocidad de propagación, intensidad y longitud de llama) dentro de los cuales se puede realizar la quema con seguridad y cumpliendo los objetivos previstos.

Los trabajos preparatorios consisten en la ejecución de las líneas de delimitación o anclaje para limitar y subparcelar la parcela de quema en una línea física (Figura 32). Si la estructura por quemar presenta una excesiva complejidad para la aplicación directa de fuego, es posible modificar la continuidad vertical del combustible con herramientas manuales, desbroces y claras bajas.

Figura 32. Preparación de líneas de defensa antes de ejecutar una quema en un rodal de actuación del Life+ PINASSA, en el Parque Natural del Montsant. Fotos: Bombers de la Generalitat.

Los restos generados durante la preparación del terreno (por ejemplo, por la eliminación de la continuidad vertical) se distribuyen de forma uniforme por la parcela con el fin de no generar una intensidad muy elevada en el momento de efectuar la quema.

La **conducción de la quema** (Figura 33) se lleva a cabo a partir del **patrón de ignición**, que debe ajustarse a los objetivos y a la seguridad de la quema en función de la meteorología, la pendiente y la carga de combustible. Asimismo, el patrón de ignición **puede ajustar la intensidad del frente** (longitud de la llama) variando el espacio de carrera mediante la aplicación lineal o puntual del fuego, o bien modificando la interacción entre frentes para ajustar el comportamiento óptimo del fuego y lograr, de este modo, los objetivos descritos en el plan de quema.

Las zonas con mayor densidad, altura de los arbustos o acumulación de restos se queman valorando la longitud de las carreras con el objetivo de mantener un fuego de baja intensidad.

Figura 33. Distintas fases de la ejecución de una quema prescrita aplicando un patrón de cola, en un bosque de pino laricio en Navès (Solsonès). El objetivo de la quema es reducir el sotobosque y el arbolado dominado, y preservar los árboles adultos. Fotos: Bombers de la Generalitat.

Una vez finalizada la fase de ignición de la quema se procede a la **fase de remate**, que consiste en el **enfriamiento de puntos calientes** y en el **sellado del perímetro** para asegurar que el fuego no traspase los límites establecidos. A partir de cierto valor de sequía, y en lugares con una elevada proporción de materia orgánica, en los días posteriores a la quema parte del humus se sigue consumiendo en una segunda fase de combustión. Esta combustión es lenta, pero puede permitir que por el subsuelo el fuego pueda superar las líneas de defensa y afectar a parcelas adyacentes no destinadas a la quema.

Por otra parte, la presencia de pies secos en pie facilita que gran parte de ellos ardan con el paso del fuego, lo que obliga a asegurar su estabilidad para evitar rodamientos que permitan a elementos incandescentes salir de los límites de la parcela. En función del grado de sequía y la disponibilidad del manto orgánico por quemar variarán las acciones de sellado del perímetro. Con valores de sequía elevados, el proceso de combustión del manto orgánico se puede prolongar en el tiempo por muchos días. Esto conlleva un elevado riesgo de propagación de la quema y obliga a llevar a cabo acciones de remate, como remojar los **20 metros más cercanos a la línea de defensa, o la creación de una profunda línea de defensa que impermeabilice el paso del fuego de subsuelo y las raíces.**

Efectos de las quemas y seguimiento

A fin de **reducir los posibles impactos** de las quemas y, al mismo tiempo, poder estudiar su efecto sobre el suelo, la vegetación y la fauna, se deben **observar y monitorizar** aspectos como los siguientes:

- **Temperatura del suelo.** La temperatura del suelo no debe aumentar significativamente: temperaturas elevadas provocan severidades elevadas. La existencia de puntos calientes tras la finalización de la quema o una elevada temperatura al contacto de la mano con el suelo son indicadores de una quema severa.
- **Monitorización del proceso de regeneración natural** de especies herbáceas, arbustivas y arboladas. Comporta dos aspectos fundamentales:
  - Evolución en el tiempo de los grados de cobertura del suelo por parte de las especies vegetales para valorar el efecto de los cambios en la estructura del bosque.

- Caracterización de las poblaciones que se regeneran en cuanto a especies y estructura. La época de aplicación del fuego y la intensidad de este están relacionadas con el favorecimiento de regeneración de distintas especies en función de su estrategia de reclutamiento: diseminadoras, rebrotadoras o ambas.

Así, el objetivo principal de la quema determinará la época y la intensidad idóneas para aplicar el fuego.

- Zonas degradadas (porcentaje de suelo descubierto y/o afloramientos rocosos) y con elevada pendiente pueden ser vulnerables a **procesos erosivos** en caso de déficit de regeneración.
- **Periodo de recurrencia de quema.** Determinar el periodo de recurrencia es fundamental para equilibrar los efectos positivos y negativos del fuego. Periodos de recurrencia demasiado cortos pueden suponer que la vegetación no haya podido crear un banco de semillas adecuado y que la regeneración posterior a la quema no sea exitosa, o bien la pérdida de algunos nutrientes por el lavado del suelo en zonas vulnerables.
- **Vegetación arbórea.** Cuando el objetivo de la quema es preservar estructuras arboladas adultas, deben valorarse los efectos del fuego sobre este estrato (Figura 34). El seguimiento del número y de la severidad de heridas producidas en los troncos, así como la valoración de la proporción de copa afectada por el fuego, forman parte de los aspectos que determinan el grado de severidad de la quema en el estrato arbolado. Mitigar los efectos del fuego en árboles adultos pasa por: *i*) elegir la época de quema para minimizar la vulnerabilidad de los tejidos vivos, *ii*) definir la ventana meteorológica adecuada para controlar la intensidad del fuego y, si procede, *iii*) modificar previamente la estructura de combustibles con herramientas mecánicas, para minimizar daños por continuidad vertical.
- **Fauna.** Elegir una época adecuada de ejecución de quemas ayudará a prevenir daños en la fauna. Deben evitarse las quemas en periodos de nidificación de aves y periodos de gran actividad de invertebrados. Además, es importante velar por la técnica en el uso del fuego regulando la velocidad para generar vías de escape en los cierres finales de las quemas.

Tiempo después de la quema debe reconocerse el terreno tratado con fuego y se han de llevar a cabo ciertas **comprobaciones para confirmar la consecución de los objetivos**:

- Grado de satisfacción de los solicitantes y usufructuarios de la parcela. Debe valorarse, además, el grado de cumplimiento de compromisos por parte del solicitante en caso de que el motivo sea el uso ganadero de la parcela.
- Grado de satisfacción de la administración forestal responsable de la gestión y preservación de los bosques.
- Grado de consecución de los objetivos técnicos fijados en el plan de quema, como la reducción del sotobosque, el porcentaje de eliminación de arbolado dominado y de pequeño diámetro, la ruptura de la continuidad vertical de los estratos de vegetación, la incidencia en la regeneración, etc.

a) b)

Figura 34. Quemas bajo arbolado de pino laricio en Navès (Solsonès), efectuada en el marco del proyecto Life+ PINASSA. a) Durante la quema; b) 7 meses después. Foto: Bombers de la Generalitat.

3.2. Experiencia acumulada en el uso de las quemas prescritas para la conservación de los bosques de pino laricio

La ecología del pino laricio y la dinámica de las estructuras naturales de la especie están relacionadas con un régimen de alta frecuencia de fuegos (< 35 años), que permite mantener unas estructuras con pocas probabilidades de generar fuegos de alta intensidad que comprometan los pies adultos, y en las que la viabilidad de la regeneración requiere esta recurrencia de fuegos para limitar la competencia con otras especies arboladas y arbustivas.

En la actualidad, la proporción de masas de pino laricio con las características descritas es mínima en Catalunya, y se restringe a localizaciones muy concretas y de superficie reducida. La actividad forestal tradicional dirigida principalmente a la extracción de producto maderero comercial, así como el abandono generalizado de la gestión forestal y el uso del bosque desde las últimas décadas, junto con el abandono del uso de las quemas para la mejora de pastos y la erradicación de los fuegos naturales por los sistemas de extinción, han facilitado la proliferación de estructuras de sotobosque con altas cargas de biomasa y bosques poco maduros y de alta vulnerabilidad a desarrollar fuegos de copas. El efecto de los grandes incendios forestales de los últimos 30 años en los bosques de pino laricio ha sido muy importante y ha reducido la superficie ocupada por la especie de forma notable.

Se presentan, a continuación, distintos **ejemplos de actuaciones llevadas a cabo con quemas prescritas**, para restaurar la capacidad de las poblaciones de pino laricio de mejorar su resiliencia y mantener su hábitat.

Reducción de la vulnerabilidad de los bosques de pino laricio a los fuegos de copas

Las estructuras de pino laricio caracterizadas por cargas de biomasa importantes en los estratos de superficie y de escala son vulnerables a los fuegos de copas y grandes incendios forestales que ponen en peligro su hábitat. Los tratamientos selvícolas destinados a la reducción de biomasa en estos estratos mejoran los valores de comportamiento del fuego en un amplio rango de condiciones meteorológicas y de disponibilidad de los combustibles vegetales. El resultado será una mayor probabilidad de fuegos de mediana y baja intensidad en caso de incendio, y una mayor dificultad de la propagación del fuego por las copas, lo que dificulta que se generen grandes incendios con efectos devastadores.

Estas actuaciones persiguen, por lo tanto, reducir la continuidad vertical y horizontal de los combustibles, a fin de crear discontinuidades y una reducción de la biomasa total disponible, a la vez que mejoran el crecimiento y la vitalidad general de la masa restante. Se pueden llevar a cabo, básicamente, de dos formas distintas (Figura 35):

- **Aplicación de fuego prescrito directamente al rodal** forestal, sin tratamiento previo mecánico, lo que afecta principalmente a los estratos de superficie y escala (hojarasca, lastón, ramas muertas, matorrales, regenerado y árboles dominados).

  Ventajas:

  - La quema prescrita emula la acción del fuego de forma natural, lo que genera una estructura resultante más diversa, condicionada por las particularidades de la ignición y la disponibilidad de los combustibles.
  - Reducción de costes al simplificar en una única actuación el tratamiento.

  Inconvenientes:

  - Requiere unas condiciones meteorológicas más ajustadas para lograr los efectos deseados, por lo que se reduce el número de días hábiles para la ejecución de la quema.
  - Requiere equipos de quema expertos para ajustar los efectos que se persiguen.
  - Se obtienen rendimientos bajos, si se debe minimizar la afectación al estrato de árboles dominante, debido a la aplicación de patrones de quema conservadores de baja intensidad y lenta progresión.

  Por otra parte, debe tenerse en cuenta que una quema prescrita aplicada de un modo excesivamente conservador puede provocar un consumo insuficiente de los combustibles, la supervivencia de sotobosque no deseado y un coste económico importante (Zimmermann, 2003).

- **Tratamiento selvícola previo (clara y/o desbroce) y aplicación posterior del fuego** para la quema extensiva de los restos.

Ventajas:

- Resultados finales más homogéneos y percepción general, por parte de la propiedad forestal y de los gestores y visitantes, de una mayor reducción de la vulnerabilidad y mejores resultados en cuanto a la prevención de incendios.
- Mayor abanico de días hábiles para la ejecución de la quema.
- Mejor rendimiento de los equipos de quema.

Inconvenientes:

- Es necesario esperar unos meses entre el tratamiento mecánico y la quema de restos para reducir la intensidad del fuego y sus efectos en el arbolado restante.
- Tendencia a la homogeneización de los efectos del tratamiento, si no se diseñan en el tratamiento previo mecánico actuaciones para generar heterogeneidad.

Coste total más elevado.

Como referencia general se recomienda, cuando el objetivo es reducir el combustible y la vulnerabilidad de los bosques a generar grandes incendios, aplicar directamente la quema prescrita y reservar el tratamiento combinado de clara y/o desbroce mecánico, con la eliminación de restos con quema, a estructuras forestales pluriestratificadas con valores de cobertura de combustible de escala superiores al 70%.

En el **anexo I se detallan dos ejemplos de quemas prescritas realizadas en el marco del proyecto Life+ PINASSA**. En primer lugar, una quema en un bosque irregular de pino laricio con una elevada continuidad del combustible y que pretende reducir la vulnerabilidad del rodal frente a los incendios forestales y, en segundo lugar, una quema en un bosque maduro de pino laricio que tiene como objetivo emular los efectos de los fuegos de rayos naturales.

a)

b)

Figura 35. Ejemplos de quemas prescritas. a) quema prescrita aplicada directamente, sin tratamiento previo; b) quema de restos posterior al tratamiento de clara y desbroce, ambas en Llobera (Solsonès). Foto: Bombers de la Generalitat.

Ayuda a la regeneración natural de pino laricio en masas forestales adultas

La implantación de regenerado de pino laricio en estructuras adultas está condicionada, a menudo, por la presencia de abundante matorral, que prolifera por la ausencia de fuegos recurrentes y/o de herbívoros que limiten su crecimiento vertical y cobertura horizontal.

En este caso, la quema prescrita elimina, en parte, la competencia del matorral, lo que proporciona durante un tiempo la opción de implantación de regenerado de pino laricio, mientras el matorral no ocupa de nuevo el espacio con su rebrote.

Cuando el regenerado de pino laricio está implantado (suele distribuirse por bosquetes), el uso del fuego puede ser un buen elemento para dosificar la competencia entre pies (clareo) y para la reducción de la

cobertura de matorral y combustible de superficie en caso de acumulaciones que puedan poner en riesgo las copas de los pies adultos (Figura 36).

Al igual que en los tratamientos para la reducción de vulnerabilidad a los fuegos de copas, los tratamientos para facilitar la regeneración pueden ser aplicar directamente la quema prescrita o llevar a cabo un tratamiento combinado de clara y/o desbroce mecánico, con la eliminación de restos con quema, en función de las características de la masa de partida.

Figura 36. Efectos de fuego de baja intensidad en regenerado de pino laricio. La recurrencia de fuegos dosifica la presencia de matorral y facilita la selección de regenerado de pino laricio. Fotos: Bombers de la Generalitat.

Preservación de bosques maduros emulando la dinámica de fuegos naturales de baja intensidad asociada al régimen de las igniciones causadas por rayos

Son pocas las estructuras de pino laricio que presentan características dasonómicas relacionadas con fuegos recurrentes de baja intensidad, con árboles maduros de edad avanzada (> 200 años) y copas aparasoladas, en los que se puedan determinar heridas de fuego en la corteza o en el cámbium. Este tipo de masas pueden verse comprometidas cuando el grado de desarrollo de los estratos de superficie y escala superan cierto umbral que podría generar un comportamiento de fuego suficientemente intenso como para matar los pies adultos (Figura 37).

La aplicación de quemas prescritas en estas estructuras permite dosificar las coberturas y alturas del estrato de superficie y preservar las características naturales de la masa (Figura 38). Se recomienda aplicar el fuego en la época estival para aproximar el efecto del fuego prescrito a las condiciones naturales de los fuegos de rayo, teniendo en cuenta la fenología de las especies, la incidencia en el banco de semillas y el favorecimiento de las especies diseminadoras ante las rebrotadoras.

Figura 37. Comportamiento de fuego intenso bajo estructura de pino laricio madura en el Parque Natural de Els Ports. La posibilidad de antorcheos y afectación a las copas se incrementa con el desarrollo de matorral. Foto: Bombers de la Generalitat.

Figura 38. Quema prescrita en un rodal maduro de pino laricio en el Parque Natural de Els Ports con edad media superior a los 180 años y señales de heridas de fuego en los pies más viejos de la parcela, en el marco del proyecto Life+ PINASSA. Foto: Bombers de la Generalitat.

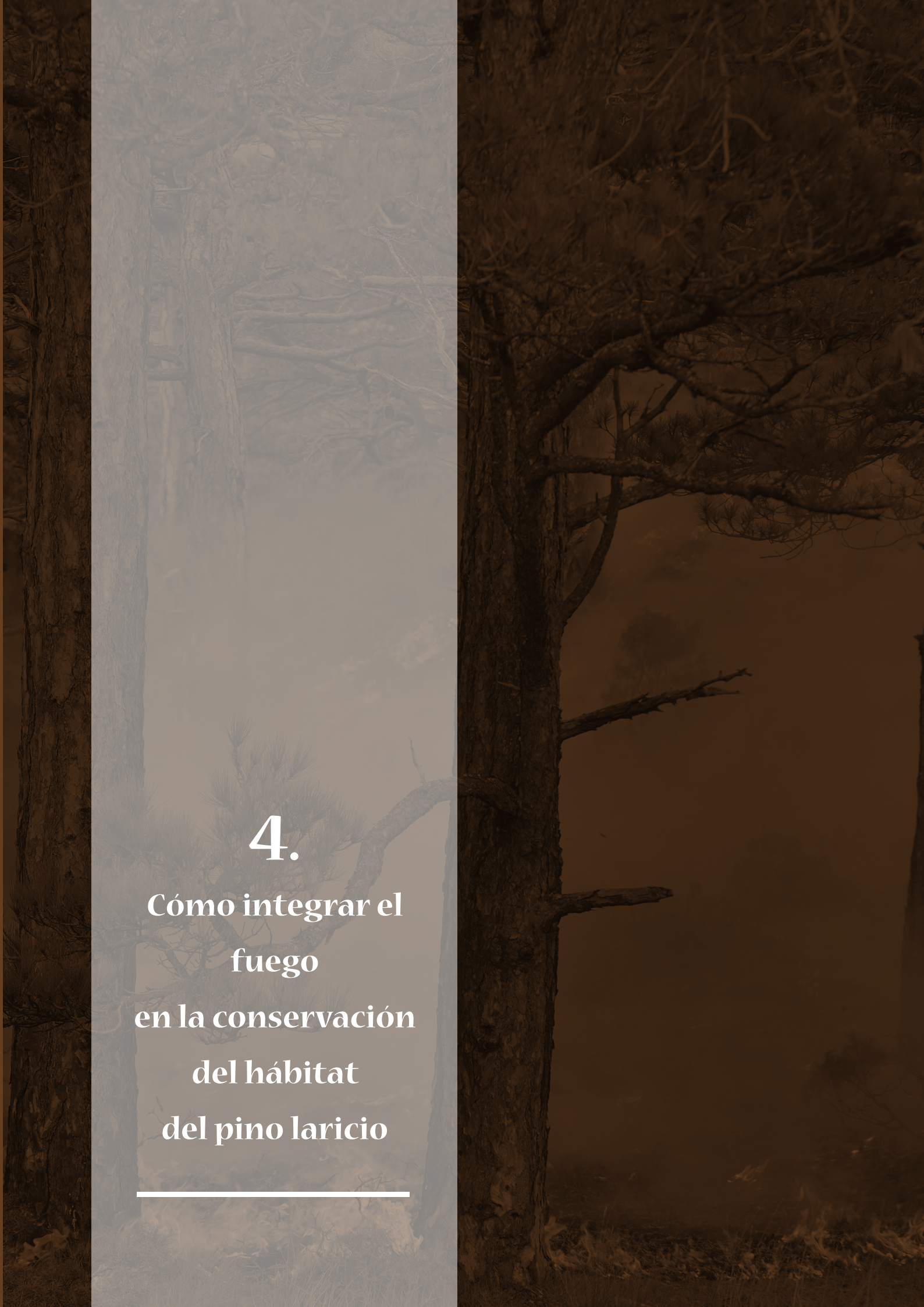
Propagación libre de las quemas

Las técnicas de quema más utilizadas para asegurar los efectos deseados son las que garantizan la intensidad de quema por debajo de unos niveles determinados. Normalmente, son quemas de flanco o de cola, con poco tiempo de residencia de la llama para garantizar poca penetrabilidad en la capa orgánica del suelo. En estas quemas se pretende la **propagación libre** la mayor parte del tiempo, interviniendo puntual o linealmente para garantizar un equilibrio de propagación en la intensidad deseada. La propagación libre es básica para respetar los procesos de diversidad de efectos sobre el rodal forestal que se quema, ya que la quema interviene en todos los procesos del ecosistema: semillas, regenerado, nutrientes, carbono, agua, etc. De esta **diversidad de efectos** dependerá, en parte, la diversidad futura del rodal forestal (Miralles, 2016).

Época de ejecución de la quema

La temporada en la que se lleva a cabo la quema también tiene efectos en los resultados. En Catalunya, tras una experiencia de más de 20 años de quemas efectuadas por Bombers de la Generalitat, se ha observado **una clara diferencia en los efectos de las quemas de invierno y las quemas de primavera u otoño**. Básicamente, las quemas realizadas en invierno propician el rebrote de matorral, mientras que las de otoño favorecen las especies herbáceas y los pastos, y las de primavera son neutras o, en caso de ser demasiado intensas, afectan a la vigorosidad de los árboles. Esta observación coincide con el hecho de que las quemas que favorecen la dinámica natural de los bosques maduros son las que se llevan a cabo en el momento estacional del régimen natural de rayos (finales de verano y principios de otoño) (Miralles, 2016).

En la quema de primavera, las zonas tratadas con combustibles gruesos pueden arder de forma más segura, el daño del suelo es mínimo, ya que la hojarasca y el humus solo están parcialmente secos, los focos secundarios se reducen porque la vegetación está más hidratada, el proceso de remojado posterior a la quema es más sencillo y económico, y es más fácil conservar los materiales gruesos destinados a objetivos ecológicos. Por otra parte, cabe tener presente que las copas de los árboles son especialmente vulnerables si se lleva a cabo una quema tras haberse iniciado el crecimiento, ya que si estas se ven afectadas la probabilidad de morir es más alta que en otoño (Valor *et al.*, 2017). **La quema prescrita de otoño se aproxima mejor al fuego natura**l; la vegetación del sotobosque está seca o muerta, por lo que arde una mayor proporción de la zona (Fiedler *et al.*, 2007). No obstante, debe vigilarse el contenido de humedad de la hojarasca y del humus, para no afectar a las raíces de los árboles, especialmente cuando hay musgo (Valor *et al.*, 2017). En comparación con las quemas de invierno, las quemas que se realizan en primavera o en otoño pueden presentar una complejidad logística y de control muy superior.



4.

Cómo integrar el fuego en la conservación del hábitat del pino laricio

4. Cómo integrar el fuego en la conservación del hábitat del pino laricio

4.1. El restablecimiento de procesos naturales característicos de los bosques de pino laricio y la evolución a bosques maduros

El restablecimiento de los procesos naturales característicos de los bosques de pino laricio (como el régimen de perturbaciones, el ciclo de nutrientes, las redes tróficas y la función hidrológica) y de los servicios ecosistémicos que dependen de ellos (como la biodiversidad, el hábitat para distintas especies, los pastos, la producción de madera y el uso recreativo) son elementos clave para alcanzar la composición y estructura de bosques maduros. La perturbación en forma de fuego dentro de un régimen variable con un periodo de retorno de entre 10 y 30 años es uno de los procesos clave que determina la evolución hacia estadios avanzados de madurez.

El restablecimiento de los procesos naturales debe efectuarse respetando el rango de variabilidad natural característico del pino laricio, y aplicado sobre los bosques actuales se puede entender como un **proceso de restauración**. Como ya se ha comentado en los capítulos anteriores, la proporción de bosques maduros en Catalunya es baja, pero suficiente para disponer de referencias en las que basar el efecto de los procesos naturales. La estructura forestal objetivo que se persigue con la restauración de los bosques maduros de pino laricio es una estructura diversificada y con distintos estratos, con árboles altos y de grandes dimensiones, y con presencia de regenerado por bosquetes. En definitiva, estructuras complejas que promuevan la resiliencia del ecosistema ante perturbaciones naturales, especialmente el fuego, en el actual contexto de cambio global.

A escala paisajística, la estructura de bosque maduro se alcanza mediante **una gestión integral ordenada** de forma que se mantengan las **proporciones de distintas clases** de edades y se asegure **multifuncionalidad** a través de la distribución proporcional de estructuras y momentos sucesionales.

Rango de variabilidad natural

Las especies de un determinado ecosistema forestal evolucionan bajo su régimen característico de perturbaciones, que resulta en un **rango de variabilidad natural**, un rango de condiciones ecológicas y evolutivas adecuadas para un determinado ecosistema (Landres *et al.*, 1999).

El rango de variabilidad natural es la mejor estimación de un ecosistema resiliente y funcional, ya que refleja la ecología evolutiva de estos bosques y representa un marco idóneo para la restauración de la composición y estructura de los bosques (Kaufmann *et al.*, 1994; Keane *et al.*, 2009). No obstante, es necesario enmarcar esta variabilidad en las incertidumbres que generan las futuras condiciones ecológicas a causa del cambio climático (Choi *et al.*, 2008; Bolte *et al.*, 2009).

En cualquier caso, dada la situación actual en la que se encuentran los bosques de pino laricio, muy vulnerables a reducir su área de distribución por el efecto de grandes incendios forestales y otros impactos del cambio climático, resulta más necesario que nunca aplicar una **gestión forestal activa** que preserve la dinámica de los procesos naturales o emule sus efectos, y que permita avanzar a los bosques de pino laricio en madurez. Entre las distintas opciones de gestión que se plantean, las Orientaciones de Gestión Forestal Sostenible de Catalunya (ORGEST) para el pino laricio (Beltrán *et al.*, 2012) son una buena referencia por los siguientes motivos:

- Integran en su concepción aspectos de la dinámica natural de los bosques de pino laricio y de prevención de incendios mediante las CVFoC y la creación de estructuras resistentes al paso del fuego y poco vulnerables a generar fuegos de copas.
- Incluyen entre los tratamientos selvícolas por realizar las quemas prescritas y el uso del fuego.
- Presentan una gran variedad de opciones de gestión para compatibilizar la producción forestal y la prevención de grandes incendios, incluyendo modelos de gestión de masas regulares, irregulares, masas mixtas, etc. con diferentes adaptaciones y turnos, junto con un código de buenas prácticas forestales.
- Proponen modelos de gestión hacia turnos físicos por encima de los 250 años, que pueden servir de referencia para el acompañamiento de los bosques actuales hacia estadios de madurez.

Un paisaje con bosques maduros será menos vulnerable al efecto de los grandes incendios, por lo que avanzar en el grado de madurez de los bosques puede convertirse en una buena opción de gestión cuando el objetivo principal del gestor no requiera regenerar la masa antes del turno físico. En este último caso, deberá abordarse el reto de compatibilizar la producción forestal y la prevención de grandes incendios, a partir de modelos de gestión sostenible como pueden ser las ORGEST, entre otros.

De este modo, **la gestión activa se presenta como una de las opciones para restablecer unos bosques viejos funcionales**. Los bosques maduros probablemente pueden mantenerse durante décadas o siglos con una gestión activa, pero seguramente no serán permanentes en un periodo de tiempo milenario. Por ello, **las áreas de bosques maduros funcionales se deben identificar y tratar ahora para desarrollar reemplazos con el tiempo**. Los tratamientos mecánicos y las quemas prescritas en estas zonas deben reducir los combustibles, reciclar los nutrientes, mantener el banco de semillas herbáceo, dinamizar los árboles y el sotobosque y promover nuevas generaciones de pinos laricio. **Tratar paisajes en vez de rodales** aumentará todavía más la funcionalidad y el valor ecológico de estas áreas a largo plazo y aumentará su resistencia a la perturbación y al cambio climático.

Por otra parte, la restauración llevada a cabo a cualquier escala no se puede lograr sin una **infraestructura de apoyo, que incluya a personal y equipos de trabajo especializados y los mercados madereros** asociados (Arno y Fiedler, 2005). La disponibilidad de trabajadores forestales y equipos cualificados permite implementar exitosamente los tratamientos según el diseño y minimizar sus efectos negativos. La disponibilidad de mercados para distintos tipos y tamaños de árboles permite el aprovechamiento de parte del arbolado que se extrae con la gestión, a la vez que proporciona ingresos que pueden ayudar a compensar los costes de los tratamientos, lo que permite gestionar un mayor número de hectáreas, siempre bajo la premisa de la sostenibilidad. Sin embargo, la restauración de los bosques viejos de pino laricio no será posible si la sociedad no está correctamente informada y la gestión forestal no se interpreta como una herramienta básica y necesaria para la conservación de los bosques ante el reto del cambio global.

Directrices para la restauración de los bosques maduros de pino laricio

1. **Establecer objetivos**, tanto para las funciones (mejora del ciclo de nutrientes, promoción de la regeneración, prevención de incendios, etc.) como para la estructura final (densidad arbórea, diámetro, composición específica, distribución espacial, cantidad de madera muerta, etc.) de los bosques.
2. **Priorizar los tratamientos** de acuerdo con el riesgo potencial de pérdida de la masa forestal, pero teniendo en cuenta los condicionantes ecológicos, biológicos, medioambientales, económicos y sociales.
3. **Identificar los tratamientos o combinación de tratamientos más adecuados** (fuego natural, fuego prescrito, gestión ganadera o selvicultura) para alcanzar los objetivos de gestión.
4. **Implementar el tratamiento.**
5. **Valorar los efectos del tratamiento.**

Herramientas para integrar el fuego en la conservación del pino laricio

1. **Interpretar las Orientaciones de Gestión Forestal Sostenible** (ORGEST) e incorporar a estas la gestión con fuego, en los pasos en los que se garantice su rol de baja intensidad y dinamizador de la pirodiversidad.
2. **Preparar planes de quema tipo** para poder integrarlos en la gestión forestal sostenible, allí donde sea adecuado.
3. **Introducir la gestión de incendios como estrategia de extinción en el marco de la planificación**. Integrar el foco natural en la conservación del hábitat de pino laricio con planes de gestión que integren el riesgo, de modo que, si se produce la perturbación, esta se convierta, a su vez, en una herramienta de gestión. Es decir, transformar un fuego que constituye una emergencia en una herramienta de gestión planificada.
4. **Generar indicadores para poder realizar un seguimiento** de la efectividad de los tratamientos y la gestión del fuego a largo plazo.

4.2. Integración de las quemas prescritas como herramienta de gestión forestal

La integración de las quemas prescritas en la gestión forestal requiere la aceptación del fuego como elemento natural de dinamización y cambio del ecosistema, para adaptar sus efectos a los objetivos de la gestión forestal. Esta aceptación representa un cambio en el paradigma comúnmente establecido del papel del fuego en el ecosistema, que se basa en una percepción negativa debido al fenómeno incontrolado de los grandes incendios forestales, que genera daños en personas y bienes, pone en riesgo las actividades agroforestales y amenaza la preservación de los procesos ecosistémicos cuando la intensidad y la recurrencia de estos incendios superan determinados valores. Volver a valorar el fuego como un elemento natural requiere aislarlo de los citados factores y analizarlo sintéticamente como fenómeno de la naturaleza. Para este análisis

es necesario aportar conocimiento e información. En este sentido, la investigación se erige como uno de los elementos clave.

La experiencia acumulada en Catalunya en la aplicación del fuego desde 1999 en distintos tipos de estructuras forestales, tanto arboladas como abiertas, y en poblaciones con diferentes especies dominantes se ha acompañado de múltiples estudios de investigación para determinar los efectos del fuego en distintos ámbitos temáticos: suelo, sucesión de especies, regeneración, crecimiento de masas arboladas, vitalidad por estratos, avifauna o invertebrados, entre otros.

Así, para la integración del uso de las quemas en la gestión y planificación forestal, es necesario profundizar en el conocimiento sobre los efectos del fuego y la ecología de las especies ante la perturbación fuego, además de ampliar este conocimiento. Asimismo, debe desarrollarse un marco regulatorio del uso de las quemas, elaborar y diseminar recomendaciones técnicas sobre este uso para lograr determinados objetivos y llevar a cabo programas de formación especializada.

Marco regulatorio del uso del fuego

La aplicación de las quemas en los últimos 20 años ha tenido como objetivo principal la reintroducción del fuego como elemento natural de gestión de los ecosistemas, dentro de un contexto en el que las políticas para limitar el número de incendios forestales habían restringido el uso del fuego a actividades marginales y reguladas por una estricta normativa.

El paisaje actual de Catalunya es vulnerable a los grandes incendios forestales por la continuidad de las masas forestales y la carga de los combustibles vegetales que las componen. La aplicación de quemas prescritas lleva implícitos una serie de riesgos que, al igual que otras actividades llevadas a cabo en el medio natural, habrá que disminuir con la adopción de medidas preventivas adecuadas al actual escenario.

El conocimiento desarrollado en los últimos años en el ámbito de la **predicción de peligro de incendio, las metodologías aplicadas en la ejecución y conducción segura de las quemas** y la evolución de las **predicciones meteorológicas** facilitan la **generación de un marco para regular el uso de las quemas prescritas** de forma segura como herramienta selvícola.

La concreción de un marco regulatorio del uso del fuego con objetivos abiertos a escala de gestión forestal y de conservación de hábitats está todavía por determinar y requiere establecer las bases en tres ámbitos principales:

- **Marco legal para el uso del fuego como herramienta de gestión** sobre la base de la aplicación extensiva de quemas prescritas, identificando a agentes responsables y procedimientos administrativos de autorización y ejecución. El marco legal actual en relación con las quemas prescritas queda circunscrito a la Orden 21/06/1993 y posterior modificación de la Orden 17/06/2006 sobre quemas controladas en zonas de alta montaña, que regula la actividad de quemas realizadas por el Departamento de la Generalitat con competencias en materia de prevención de incendios, y por el Decreto 312/2006, de 25 de julio, por el que se regula la gestión del fuego técnico por parte del personal de los servicios de prevención y extinción de incendios de la Generalitat de Catalunya (Bombers de la Generalitat). Se trata, por lo tanto, de una regulación restringida únicamente a dos colectivos de la Administración que limita mucho la capacidad de uso del fuego de forma amplia.
- **Habilitación y capacitación de agentes** (instituciones y empresas) para la planificación y ejecución de quemas prescritas. Al igual que otras actividades relacionadas con la gestión y planificación forestal, así como la ejecución y dirección de obras y tratamientos selvícolas, se requiere establecer un marco que regule las competencias y responsabilidades para poder planificar, dirigir y ejecutar quemas prescritas.
- Integración de las **quemas prescritas en el marco de las ayudas selvícolas** a la gestión forestal. Extender el uso del fuego como herramienta de gestión requiere facilitar su aplicación, para que pase a formar parte del conjunto de herramientas del gestor forestal, con igualdad de condiciones para acceder a las ayudas que otorga la Administración en materia selvícola.

En territorios como los Estados Unidos o Australia, con años de experiencia en el uso y la gestión del fuego, se elaboran programas relacionados con la materia, identificando a los agentes implicados para aglutinar los distintos objetivos y establecer los procedimientos de planificación, ejecución y verificación del uso del fuego. Los condicionantes biológicos en relación con los efectos en fauna (principalmente, periodos de cría), ecológicos en lo relativo a preservación concreta de hábitats de fauna y flora (básicamente, formaciones

vegetales específicas) y medioambientales, relacionados con procesos de contaminación de aguas por ceniza, gestión de humos, estabilidad de laderas con mucha pendiente, etc., deben estar integrados en los programas de uso del fuego.

A fin de asegurar la viabilidad de los programas de uso del fuego se debe **informar y ofrecer el conocimiento necesario a la sociedad**. Estos programas solo funcionarán bajo la **tolerancia y compromiso** de la sociedad **para asumir los riesgos necesarios que permitan garantizar la supervivencia** de los bosques ante los retos del cambio climático.

4.3. Fuegos naturales y gestión de incendios

El **fuego es un tratamiento integral o un proceso de perturbación** para la restauración de los bosques maduros. El modo en el que se implementa este proceso de perturbación depende, en gran parte, de los objetivos de gestión. El fuego natural (fuego de rayos) es actualmente factible únicamente en momentos meteorológicamente favorables y en espacios ordenados y planificados, siempre y cuando se transforme con una quema de gestión y se sigan los protocolos de este tipo de quemas. Incluso en estos entornos se requiere un esfuerzo adicional de vigilancia, monitorización y control de los efectos hasta que esta práctica haya sido plenamente aceptada por la sociedad. Los incendios naturales son una opción relativamente poco utilizada para el tratamiento de bosques, y más probable en zonas donde las características de bosque maduro ya se han alcanzado (Fiedler *et al.*, 2007). En Catalunya, concretamente, se ha usado esta práctica en incendios como los de Tivissa (2014) (*Pinus halepensis),* Cerbi (2016) (*Pinus uncinata, Abies alba* y *Betula* sp., Figura 39) y, puntualmente, en dos fuegos de rayo (2017) (*Pinus nigra* y *Quercus faginea*) en la sierra de Ancosa-Montmell.

Figura 39. Incendio forestal gestionado en Cerbi (Pallars Sobirà) en 2016. Foto: Bombers de la Generalitat.

La implantación de la gestión de incendios es, en la actualidad, incipiente y experimental. En el caso de Catalunya, esta se sustentaría sobre la siguiente base:

- **20 años de programas de quemas**, que han permitido alcanzar un alto nivel de dominio de la herramienta fuego para gestionar estructuras forestales y mosaicos a escala de paisaje.
- **Existencia de amparo legal** recogido en el Infocat (*Plans d'actuació del Grup d'intervenció i del Grup d'avaluació*) y en el decreto del uso del fuego técnico (Decret 312/2006).
- **Investigación** que ha podido testar y validar, en parte, los efectos del fuego sobre la fauna, la flora, el suelo y los hábitats a corto y a largo plazo.
- Actualmente, **el uso del fuego como herramienta se ha extendido por Europa** y no se discute el rol del fuego como elemento natural.

Cualquier **programa de gestión del fuego**, junto con los programas de quemas, debe tener en cuenta dos aspectos principales:

a) En todos los ecosistemas se ha detectado una diferencia significativa de los efectos del fuego cuando este se aplica fuera del **periodo natural del régimen de fuego histórico**. Es decir, quemar en invierno por seguridad permite gestionar el combustible, pero altera la composición específica del hábitat gestionado.

b) La **problemática de los incendios sigue creciendo y la extinción como única alternativa no es viable**. Tampoco lo es la prevención con intervención puntual. Ningún programa de quemas ha conseguido introducir el fuego de forma extensiva y frenar la evolución de los incendios hacia la alta intensidad. La oleada global de megaincendios de 2017 que afectó a distintos ecosistemas del planeta, y de forma próxima a los bosques de Portugal, ha permitido alcanzar consenso en cuanto a la necesidad de implantar gestión de combustibles de forma extensiva. Esta escala de gestión extensiva implica **gestionar los incendios** o preparar la implantación de programas en los que el fuego, bajo planificación y monitorización, esté permitido en formato de incendio y no en formato de quema puntual.

A fin de restaurar el régimen de fuego, es decir, el régimen de incendios de mediana y baja intensidad, con las citadas lecciones aprendidas sería necesario, en primer lugar, extender la **gestión con fuego a escala de paisaje**, ya que la prevención más tradicional permite evitar incendios, pero no cambiar su régimen. En segundo lugar, debería llevarse a cabo esta gestión con fuego en el **periodo estival o a finales de verano**, cuando los fuegos se desarrollan de forma natural, para evitar crear, así, nuevas alteraciones.

Para alcanzar este objetivo, es necesario que los programas de uso del fuego evolucionen desde el enfoque clásico o más conocido de introducir el fuego para gestionar estructuras controlando los parámetros de comportamiento del fuego y sus efectos, hacia una **visión más decidida que permita gestionar los paisajes** mediante el control de la extensión final del fuego de forma concreta, pero con la asunción de un rango de efectos más amplio.

Se puede aplicar gestión del fuego cuando se monitoriza el fuego de un rayo en una estructura concreta y se valora que sus efectos son beneficiosos para preservarla. Este tipo de gestión del fuego natural se aborda con el mismo esquema de monitorización que en el caso de una quema prescrita, con unos límites físicos, un comportamiento predeterminado y unos efectos preestablecidos. El ámbito de actuación es la escala de rodal y la mejora es temporal. El impacto de la actuación no tiene en cuenta la escala de incendio «problema» que puede afectar a aquel paisaje, y en términos generales la aportación a la mejora será escasa. En el contexto actual de mayor posibilidad de ocurrencia de megaincendios, cada vez hay más consenso sobre la importancia de evolucionar hacia una **escala de gestión de fuegos** que tenga efectos de acuerdo con la escala de incendio «problema», para elevar a una visión estratégica la planificación temporal y espacial de las acciones de reducción del riesgo. Esto implica **delimitar unos ejes de confinamiento final claros** de incendio, pero dejando que el **fuego se propague en su diversidad**, lo que crea un paisaje natural pero incierto para el gestor forestal. El control sobre los efectos y el comportamiento del fuego no podrá ser ni tan preciso ni detallado como cuando se gestiona el fuego con la visión de mejorar estructuras concretas.

Por lo tanto, los nuevos conceptos de reintroducción del fuego van hacia permitir que el fuego modele el paisaje. Esto es un salto conceptual donde la toma de decisiones sigue una pauta lógica para determinar el marco de gestión del fuego en base a cuatro elementos principales (Figura 40):

- Geografía
- Meteorología
- Escenario forestal
- Elementos vulnerables (bienes y personas)

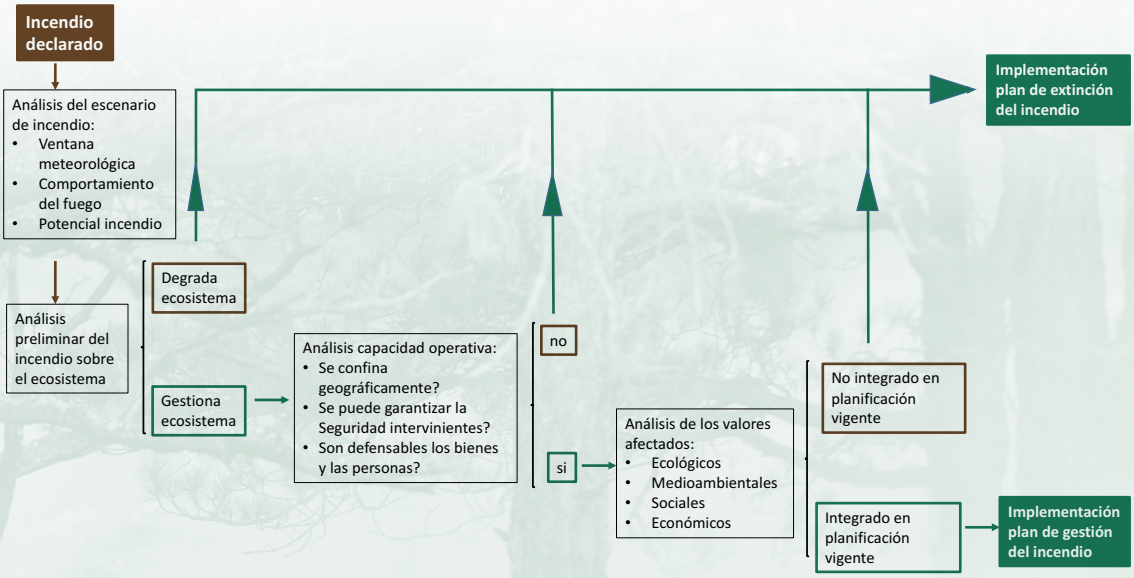


Figura 40. Ejemplo de árbol de toma de decisiones para la gestión de incendios forestales en Catalunya.

Una vez se asume la aplicación de un plan de gestión de incendio hay que determinar **un equipo de monitorización y seguimiento** que garantice las siguientes acciones:

- Capacidad de seguimiento permanente y reevaluación del escenario hasta que se dé por extinguido el incendio.
- Capacidad de desarrollo de las maniobras y recursos necesarios para asegurar el confinamiento pre-establecido.
- Capacidad de mantener un plan de comunicación permanente al público con la actualización de la información relevante hasta la extinción del incendio.
- Capacidad científica de seguimiento y análisis de los efectos del incendio para mejorar la evaluación de los impactos del fuego en el futuro.

La **implementación de un plan de gestión de incendios es compleja** y requiere de unas estructuras administrativas, una planificación y de unos acuerdos previos entre los agentes implicados. En la Tabla 4 se identifican, a modo de ejemplo, los componentes más importantes que configuran la implementación de la gestión de incendios, así como los agentes responsables y una valoración de la capacidad de trabajo en base a la situación de desarrollo actual.

Componente	Agente	Valoración capacidad de trabajo	Rango de desarrollo actual
Análisis escenario de incendio (ventana, comportamiento y potencial)	Estructura de soporte de la Sala Central Bombers	Estructura de Bombers operativa permanentemente para el seguimiento de incendios	9/10
Análisis preliminar impacto ecosistema	Componentes del Grup d'Avaluació d'Incendis Forestals del Infocat	Estructura actual existente pero sin procedimientos de trabajo establecidos. Respuesta actual no estructurada	4/10
Análisis capacidad operativa	Estructura de soporte de la Sala Central Bombers	Estructura de análisis de Bombers con metodología contrastada para fijarlos límites de confinamiento para escenarios de menos de 1000 ha o períodos de 3 a 7 días. Experiencia a corto plazo (3 días en Tivissa 2014 y 7 días en Cerbi 2016)	8/10
Análisis valores afectados	Componentes del Grup d'Avaluació d'Incendis Forestals del Infocat	Estructura actual existente pero sin procedimientos de trabajo establecidos. Respuesta actual no estructurada	3/10
Valoración integración planificación vigente	Administraciones con competencia en gestión forestal y planificación territorial Propiedad forestal	La planificación actual no contempla este tipo de escenarios y se encuentra disgregada en diferentes figuras con objetsivos variados. Habría que aglutinar las figuras de planificación y consensuar objetivos entre los agentes responsables	2/10
Tareas operativas del plan de gestión de incendio	Componentes del Grup d'Avaluació d'Incendis Forestals del Infocat	Equipos preparados para llevar a cabo la tarea. El dimensionamiento de los mismos puede condicionar los límites de confinamiento. La necesidad de los recursos en otros incendios puede condicionar la duración del confinamiento	7/10
Plan de seguimiento de los efectos y evaluación de impacto del incendio	Centros de investigación y universidades	Experiencia dilatada en el tema. Recursos limitados o sin financiación en este punto	5/10
Plan de comunicación pública.	Todos	Hay que fijar una estrategia comunicativa clara para cambiar el mensaje de que el fuego siempre es malo. En los casos que se ha hecho, la prensa ha respondido correctamente, pero con improvisación	2/10

Tabla 4. Ejemplo de factores a considerar para la implementación de un plan de gestión de incendios en Catalunya.

5.

Referencias bibliográficas

5. Referencias bibliográficas

- Agee, J. K. (1993) *Fire ecology of Pacific Northwest forests*. Island Press.
- Agee, J. K. (1996) «The influence of forest structure on fire behavior», *Proceedings of the 17th Annual Forest Vegetation Management Conference, January 16–18*. Redding, EUA, p. 52–68.
- Agee, J. K. y Skinner, C. N. (2005) «Basic principles of forest fuel reduction treatments», *Forest Ecology and Management*, 211(1-2), pp. 83-96. doi: 10.1016/j.foreco.2005.01.034.
- Alcañiz, M., Outeiro, L., Francos, M., Farguell, J. y Úbeda, X. (2016) «Long-term dynamics of soil chemical properties after a prescribed fire in a Mediterranean forest (Montgrí Massif, Catalonia, Spain)», *Science of The Total Environment*, 572, pp. 1329-1335. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.01.115.
- Anderson, H. E. (1982) *Aids to determining fuel models for estimating fire behaviour. General Technical Report INT-122.* USDA Forest Service. Ogden, EUA: USDA Forest Service.
- Arno, S. F. y Fiedler, C. E. (2005) *Mimicking nature's fire: restoring fire-prone forests in the West.* Washington, EUA: Island Press.
- Beltrán, M., Vericat, P., Piqué, M. y Cervera, T. (2012) *Models de gestió per als boscos de pinassa (Pinus nigra Arn.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. 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. 152 p.
- Binkley, D., Sisk, T., Chambers, C., Springer, J. y Block, W. (2007) «The role of old-growth forests in frequent-fire landscapes», *Ecology and Society*, 12(2), p. 18.
- Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G. J., Schall, P., Spathelf, P. y Rock, J. (2009) «Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept», *Scandinavian Journal of Forest Research*. Taylor & Francis Group, 24(6), pp. 473-482. doi: 10.1080/02827580903418224.
- Brotons, L., Pons, P. y Herrando, S. (2005) «Colonization of dynamic Mediterranean landscapes: where do birds come from after fire?», *Journal of Biogeography*, 32, pp. 789-798. doi: 10.1111/j.1365-2699.2004.01195.x.
- Brown, R. T., Agee, J. K. y Franklin, J. F. (2004) «Forest Restoration and Fire: Principles in the Context of Place», *Conservation Biology*, 18(4), pp. 903-912. doi: 10.1111/j.1523-1739.2004.521_1.x.
- Camprodon, J.; Guixé, D.; Sazatornil, V. 2018. *Manual de caracterización y conservación de los bosques singulares de pino laricio*. Life+ PINASSA. Edita Centre de la Propietat Forestal. 80 p.
- Carrera, M. (2012) *Calendari de les festes amb foc*. Els llibres de festes.org. Botarga produccions.
- Casals, V., Pardo, F., Xalabarder, M., Postigo, J. M. y Gil, L. (2005) *La transformación histórica del paisaje forestal en Catalunya*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Choi, Y. D., Temperton, V. M., Allen, E. B., Grootjans, A. P., Halassy, M., Hobbs, R. J., Naeth, M. A., Torok, K. y Martínez, M. L. (2008) «Ecological restoration for future sustainability in a changing environment», *Écoscience*, 15(1), pp. 53-64. doi: 10.2980/1195-6860(2008)15[53:erffsi]2.0.co;2.
- Critchfield, W. B. y Little, E. L. (1966) *Geographic distribution of the pines of the world.* Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Cunill, R., Soriano, J.-M., Bal, M.-C., Pèlachs, A. y Pérez-Obiol, R. (2012) «Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: a pedoanthracological analysis», *Vegetation History and Archaeobotany*. Springer-Verlag, 21(4-5), pp. 373-384. doi: 10.1007/s00334-011-0342-y.
- DGDRPF (2016) *Mapa Forestal de España. Escala 1:25.000. Catalunya*. Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- EUROPARC-España (2017) *El papel de los bosques maduros en la conservación de la biodiversidad*. Fundación Fernando González Bernaldez, Madrid.
- Fiedler, C. E., Friederici, P., Petruncio, M., Denton, C. y Hacker, W. D. (2007) «Managing for old growth in frequent-fire landscapes», *Ecology and Society*, 12(2), p. 20.
- Fulé, P. Z., Waltz, E. M., Covington, W. W. y Heinlein, T. A. (2001) «Measuring forest restoration effectiveness in reducing hazardous fuels», *Journal of Forestry*, 99(11), pp. 24-29. doi: 10.1093/jof/99.11.24.
- Gilg, O. (2005) *Old-Growth Forests: characteristics, conservation and monitoring*, *L'Atelier technique des espaces naturels & Réserves Naturelles de France*.
- Graham, R. T., McCaffrey, S. y Jain, T. B. (2004) *Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behavior and Severity. General Technical Report RMRS-GTR-120*. USDA Forest Service. Fort Collins, EUA.

- Granier, A., Reichstein, M., Bréda, N., Janssens, I. A., Falge, E., Ciais, P., Grünwald, T., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Facini, O., Grassi, G., Heinesch, B., Ilvesniemi, H., Keronen, P., Knohl, A., Köstner, B., Lagergren, F., Lindroth, A., Longdoz, B., Loustau, D., Mateus, J., Montagnani, L., Nys, C., Moors, E., Papale, D., Peiffer, M., Pilegaard, K., Pita, G., Pumpanen, J., Rambal, S., Rebmann, C., Rodrigues, A., Seufert, G., Tenhunen, J., Vesala, T. y Wang, Q. (2007) «Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003», *Agricultural and Forest Meteorology*, 143(1-2), pp. 123-145. doi: 10.1016/j.agrformet.2006.12.004.

- Hiers, J. K., O'Brien, J. J., Mitchell, R. J., Grego, J. M. y Loudermilk, E. L. (2009) «The wildland fuel cell concept: an approach to characterize fine-scale variation in fuels and fire in frequently burned longleaf pine forests», *International Journal of Wildland Fire*. CSIRO PUBLISHING, 18(3), pp. 315-325. doi: 10.1071/WF08084.

- Hódar, J. A., Zamora, R. y Peñuelas, J. (2004) «El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal», *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Editado por F. Valladares. Madrid: EGRAFSA., Ministerio de Medio Ambiente, pp. 461-478.

- Johnson, M., Peterson, D. y Raymond, C. (2007) *Guide to fuel treatments in dry forests of the Western United States: assessing forest structure and fire hazard. General Technical Report PNW-686*. USDA Forest Service. Portland, EUA.

- Kaufmann, M. R., Graham, R. T., Boyce, D. A., J., Moir, W. H., Perry, L., Reynolds, R. T., Bassett, R. L., Mehlhop, P., Edminster, C. B., Block, W. M. y Corn, P. S. (1994) *An ecological basis for ecosystem management. General Technical Report RM-GTR-246.* USDA Forest Service. Fort Collins, EUA.

- Kaufmann, M. R., Moir, W. H. y Covington, W. W. (1992) «Oldgrowth forests: what do we know about their ecology and management in the Southwest and Rocky Mountain Regions?», *Old-Growth Forest in the Southwest and Rocky Mountain Regions. General Technical Report RM-213.* Editado por M. R. Kaufmann, W. H. Moir, y R. L. Basset. USDA Forest Service. Portal, USA, pp. 1-11.

- Keane, R. E., Hessburg, P. F., Landres, P. B. y Swanson, F. J. (2009) «The use of historical range and variability (HRV) in landscape management», *Forest Ecology and Management*, pp. 1025-1037. doi: 10.1016/j.foreco.2009.05.035.

- Kelly, L. T. y Brotons, L. (2017) «Using fire to promote biodiversity.», *Science*. American Association for the Advancement of Science, 355(6331), pp. 1264-1265. doi: 10.1126/science.aam7672.

- Landres, P. B., Morgan, P. y Swanson, F. J. (1999) «Overview of the use of natural variability concepts managing ecologycal systems», *Ecological Applications*. Wiley-Blackwell, 9(4), pp. 1179-1188. doi: 10.1890/1051-0761(1999)009[1179:OOTUON]2.0.CO;2.

- Larson, A. J. y Churchill, D. (2012) «Tree spatial patterns in fire-frequent forests of western North America, including mechanisms of pattern formation and implications for designing fuel reduction and restoration treatments», *Forest Ecology and Management*, pp. 74-92. doi: 10.1016/j.foreco.2011.11.038.

- Lázaro, A. y Montiel, C. (2010) «Overview of prescribed burning policies and practices in Europe and other countries.», *Towards Integrated Fire Management-Outcomes of the European Project Fire Paradox*. European Forest Institut Research Report 23, pp. 137-150.

- Loustau, D., Bosc, A., Colin, A., Davi, H., François, C., Dufrêne, E., Déqué, M., Cloppet, E., Arrouays, D., Le Bas, C., Saby, N., Pignard, G., Hamza, N., Granier, A., Breda, N., Ciais, P., Viovy, N., Ogée, J. y Delage, J. (2005) «Modelling the climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub regional level.», *Tree Physiology*, 25(7), pp. 813-823.

- van Mantgem, P. y Schwartz, M. (2003) «Bark heat resistance of small trees in Californian mixed conifer forests: testing some model assumptions», *Forest Ecology and Management*, 178(3), pp. 341-352. doi: 10.1016/S0378-1127(02)00554-6.

- Martin, R. E. y Sapsis, D. B. (1991) «Fires as agents of biodiversity: pyrodiversity promotes biodiversity», *Biodiversity of Northwestern California.* Editado por J. LeBlance. Santa Rosa ,EUA, pp. 150–157.

- Miralles, M. (2016) «Las quemas prescritas como herramienta forestal sostenible», *Seminario Cambio climático y global, incendios y uso del fuego en ecosistemas Mediterráneos.* Almeria, Espanya.

- Mitchell, S. R., Harmon, M. E. y O'Connell, K. E. B. (2009) «Forest fuel reduction alters fire severity and long-term carbon storage in three Pacific Northwest ecosystems.», *Ecological applications*, 19(3), pp. 643-655.

- Pausas, J. G. y Keeley, J. E. (2009) «A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life», *BioScience*. Oxford University Press, 59(7), pp. 593-601. doi: 10.1525/bio.2009.59.7.10.

- Pellisa, O. (2003) *Ecologia del foc del Pinus Nigra Arn. a la Serra de Cardó. Treball pràctic tutorat, Enginyeria Forestal*. Universitat de Lleida.

- Peñuelas, J. y Boada, M. (2003) «A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain)», *Global Change Biology*, 9(2), pp. 131-140. doi: 10.1046/j.1365-2486.2003.00566.x.

- Piqué, M., Castellnou, M., Valor, T., Pagés, J., Larrañaga, A., Miralles, M. y 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 per a Catalunya (ORGEST).* Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya, Barcelona.

- Piqué, M. y Domènech, R. (2018) «Effectiveness of mechanical thinning and prescribed burning on fire behavior in Pinus nigra forests in NE Spain», *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 618, pp. 1539-1546. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.316.

- Piqué, M., Vericat, P., Cervera, T., Baiges, T. y 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.

- Plana, E. (ed.) (2004) *Incendis forestals, dimensió socioambiental, gestió del risc i ecologia del foc.* Xarxa ALINFO XCT2001-00061, Solsona.

- Pons, P., Lambert, B. y Rigolot, E. (2003) «The effects of grassland management using fire on habitat occupancy and conservation of birds in a mosaic landscape», *Biodiversity and Conservation*, 12, pp. 1843-1860.

- Reynolds, R. T., Meador Sánchez, A. J., Youtz, J. A., Nicolet, T., Matonis, M. S., Jackson, P. L., DeLorenzo, D. G. y Graves, A. D. (2013) *Restoring composition and structure in southwestern firequent-fire forests: A science-based framework for improving ecosystem resiliency. General Technical Report RMRS-GTR-310*. USDA Forest Service. Fort Collins, EUA.

- Rothermel, R. C. (1983) *How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143*. USDA Forest Service. Ogden, EUA.

- Scott, J. H. y Burgan, R. E. (2005) *Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. General Technical Report RMRS-GTR-153.* USDA Forest Service. Fort Collins, EUA.

- Scott, J. H. y Reinhardt, E. D. (2007) «Effects of alternative treatments on canopy fuel characteristics in five conifer stands.», *Restoring fire-adapted ecosystems: proceedings of the 2005 national silviculture workshop. General Technical Report PSW-GTR-203.* Editado por R. F. Powers. USDA Forest Service. Albany, EUA, pp. 193-209.

- Tapias, R., Climent, J., Pardos, J. A. y Gil, L. (2004) «Life Histories of Mediterranean Pines Life histories of Mediterranean pines», *Plant Ecology*, 171(1), pp. 53-68.

- Taylor, D. L. (1971) «Biotic succession of lodgepole pine forests of fire origin in Yellowstone National Park.», *National Geographic Research Reports*, 12, pp. 693-702.

- Taylor, D. L. (1973) «Some ecological implications of forest fire control in Yellowstone National Park, Wyoming.», *Ecology*, 54, pp. 1394-1396.

- Terradas, J. (ed.) (1996) *Ecologia del foc*. Edicions Proa, Barcelona.

- Tingley, M., Ruiz-Gutiérrez, V., Wilkerson, R., Howell, C. y Siegel, R. (2016) «Pyrodiversity promotes avian diversity over the decade following forest fire», *Proceedings of the Royal Society B*, 283(1840), p. 9.

- Tíscar, P. A. y Linares, J. C. (2014) «Large-Scale Regeneration Patterns of Pinus nigra Subsp. salzmannii: Poor Evidence of Increasing Facilitation Across a Drought Gradient», *Forests*, 5, pp. 1-20. doi: 10.3390/f5010001.

- Tíscar, P. A. y Lucas-Borja, M. E. (2010) «Seed mass variation, germination time and seedling performance in a population of Pinus nigra subsp. salzamannii», *Forest Systems*, 19(3), pp. 344-353. doi: 10.5424/fs/2010193-9094.

- Valor, T., González-Olabarria, J. R., Piqué, M. y Casals, P. (2017) «The effects of burning season and severity on the mortality over time of Pinus nigra spp. salzmannii (Dunal) Franco and P. sylvestris L.», *Forest Ecology and Management*, 406, pp. 172-183. doi: 10.1016/j.foreco.2017.08.027.

- Vigo, J., Carreras, J. y Ferré, A. (eds.) (2005) *Manual dels hàbitats de Catalunya.* Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

- Wagner, C. E. Van (1977) «Conditions for the start and spread of crown fire», *Canadian Journal of Forest Research*. NRC Research Press Ottawa, Canada , 7(1), pp. 23-34. doi: 10.1139/x77-004.

- Wirth, C., Messier, C., Bergeron, Y., Frank, D. y Fankhänel, A. (2009) «Old-Growth Forest Definitions: a Pragmatic View», *Old-Growth Forests*. Editado por C. Wirth, M. Heimann, y G. Gleixner. Berlin: Springer Verlag, pp. 11-33.

- Zimmermann, S. (2003) «Closing Comments: Fire, Fuel Treatments, and Ecological Restoration—Proper Place, Appropriate Time», *Fire, fuel treatments, and ecological restoration. Proceedings RMRS-P-29*. Editado por P. N. Omi y L. A. Joyce. USDA Forest Service. Fort Collins, EUA, pp. 435-442.

Anexo 1

Anexo 1

Fichas de ejemplos aplicados

QUEMA PRESCRITA EN UN BOSQUE IRREGULAR DE PINO LARICIO

Localización

Municipio: Llobera (Solsonès)	ZEC: ES5130027, «Obagues de la riera de Madrona»	Superficie: 9,9 ha

Fecha de ejecución de la quema: mayo de 2016

Objetivos

Desbroce y clara baja. Eliminación del matorral y regeneración del lastón para rebajar la carga de combustible, ruptura de la continuidad vertical de los estratos de vegetación para reducir el riesgo de propagación de fuegos de copas (parcela ubicada en una zona estratégica de gestión respecto a la extinción de incendios forestales), dosificación de la competencia por los recursos y mejora de la vitalidad del arbolado.

Objetivos principales	Objetivos específicos
- Prevención de incendios forestales. - Selvícola (mejora del crecimiento y vitalidad del bosque) - Formación y transferencia.	- Reducción de la carga de combustible. - Rejuvenecimiento de herbáceas. - Eliminación del ramaje en suelo. - Eliminación de pies suprimidos.

Caracterización de la zona de actuación

Estructura irregular de pino laricio con una cobertura variable, en general con subpiso de roble y encina por rodales, y sotobosque de densidad variable, pero con una clara tendencia a la densificación. Sotobosque formado por lastón, hojarasca, aulaga, boj, coscoja, rebrote de roble y encina. La pendiente de la zona facilitaría de forma general el fuego de copas pasivo.

Características dasométricas del rodal

Calidad de estación	Fracción de cabida cubierta	Densidad arbórea (pies > 7,5 cm)	Diámetro medio	Área basimétrica	Altura media	Volumen con corteza	Edad	TVFoC[1]
	%	pies/ha	cm	m^2/ha	m	m^3/ha	años	
Media	89	1.341	15,9	2,9	9,1	135	60-80	A1

[1] TVFoC: tipologías de vulnerabilidad al fuego de copas. Las estructuras de tipo A son muy vulnerables a generar fuegos de copas, las de tipo B son medianamente vulnerables y las de tipo C, muy poco vulnerables.

Caracterización del sotobosque del rodal

Especie arbustiva principal	Cobertura arbustiva	Altura media arbustiva	Cobertura no arbustiva		
			Herbácea	Musgo	Restos leñosos
	%	cm	%	%	%
Buxus sempervirens	72	117	10	6	12

Descripción de la actuación realizada

Trabajos previos

- Trabajos preparatorios del rodal. Se efectúan líneas de defensa con desbrozadora para limitar los dos flancos y la zona alta de la parcela con un total de unos 950 m. La zona baja de la parcela limita con un camino forestal terciario.
- Comunicación a la población. Avisos a los ayuntamientos afectados y a la prensa.

Ejecución de la quema

Meteorología	*Par*ámetros de ejecución de la quema
Temperatura media: 19,5 °C	Altura de la llama: < 1,5 m. Mortalidad: 0%
Humedad relativa media: 44,9%	Altura de quema máx.-mín.: 0,79-0,37 m
Velocidad media del viento: 2,8 km/h	Altura de la primera rama viva: 4,35 m

Resultados obtenidos

Características dasométricas del rodal 2 años después del tratamiento

Calidad de estación	Fracción de cabida cubierta	Densidad arbórea (pies > 7,5 cm)	Diámetro medio	Área basimétrica	Altura media	Volumen con corteza	Edad	TVFoC
	%	pies/ha	cm	m^2/ha	m	m^3/ha	años	
78	1.178	16,6	25,4	9,8	136	60-80	C10/B7	78

Caracterización del sotobosque del rodal 2 años después del tratamiento

Especie arbustiva principal	Cobertura arbustiva	Altura media arbustiva	Cobertura no arbustiva		
			Herbácea	Musgo	Restos leñosos
	%	cm	%	%	%
Quercus coccifera	14	34	28	2	19

Valoración de la quema

El efecto del conjunto de días de quema ha sido variado, en función de la ventana meteorológica en la que se ha aplicado el fuego. En casi la mitad de la superficie se ha logrado reducir la vulnerabilidad al fuego de copas de muy alta a abaja (de estructura de tipo A a C) y en la otra mitad, de muy alta a moderada (de A a B). La heterogeneidad de la parcela y la variedad meteorológica de los días de quema han sido factores clave para explicar la variedad de efectos, y han permitido extraer conclusiones sobre cómo y cuándo aplicar fuego a este tipo de estructura forestal.

Fotos de antes de la quema y 11 meses después de esta

Estimación de rendimientos en la ejecución de las quemas

En las quemas ejecutadas en este tipo de estructuras, y con el objetivo de emular desbroces de matorral con afectación mínima en el estrato dominante de árboles, se emplean equipos de unos 15-20 operarios por jornada, con unos rendimientos de 1,5 a 4 ha/jornada. Estos datos informan sobre unos rendimientos de tiempo dedicado por hectárea trabajada que oscila entre las 50-110 horas/ha. La varianza de rendimiento se debe, en gran parte, a elementos propios de la parcela, como los siguientes:

- Forma de la parcela de quema: este tipo de quema bajo arbolado se lleva a cabo siguiendo la dirección descendente de la ladera con ritmos de progresión de 7 a 10 metros de desnivel por hora; parcelas de menos de 100 metros lineales de anchura representan jornadas de quema que difícilmente superarán 1 ha.
- Las características de los límites de la parcela condicionan el dimensionamiento del equipo de control. En este sentido, anclajes de la quema en senderos o pequeñas discontinuidades de combustible requieren equipos de control más potentes que cuando se puede anclar en campos, caminos amplios o límites naturales consolidados. En muchas ocasiones, se pueden apoyar los límites de la quema en zonas ya quemadas anteriormente, lo que simplifica considerablemente las tareas de control y reduce los equipos de quema.
- Las horas hábiles de quema por jornada son otro condicionante importante de los rendimientos de los equipos de quema. Cuando la disponibilidad del combustible está condicionada por la radiación solar, por ejemplo, en zonas de umbría o zonas llanas con presencia habitual de niebla en invierno, las horas hábiles de quema son pocas en el periodo de noviembre a enero, lo que reduce en gran medida los rendimientos de los equipos de quema. Por el contrario, en épocas de alta disponibilidad del combustible, debe valorarse si el intervalo de horas dentro de la ventana de comportamiento es suficiente para justificar el despliegue de recursos para ejecutar la quema.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

A la hora de tratar con fuego directo estructuras como estas, muy complejas en cuanto a la acumulación de combustible y continuidad vertical entre estratos de vegetación, es complicado lograr una reducción de la vulnerabilidad al fuego de copas de forma generalizada en todo el rodal (paso de estructuras de tipo A a tipo C) en una única intervención. La heterogeneidad dentro del rodal conlleva que encontrar ventanas de quema en las que los efectos sean uniformes no sea fácil, sobre todo cuando se debe ir con cuidado para no afectar al arbolado dominante.

En estructuras compuestas por un abundante estrato de combustible de escala y continuidad entre estratos de vegetación, se pueden proponer desbroces selectivos que únicamente afecten a la vegetación que será difícil de quemar o a aquella que, si arde, puede comprometer la vitalidad del estrato arbolado.

En contra de lo que pueda parecer, las ventanas de quema más estables y con una disponibilidad más acorde con los efectos pretendidos en este tipo de estructuras las encontraremos en la primavera avanzada y en verano, preferentemente de noche.

Previsión de la evolución esperada

El efecto principal de la quema se advierte en los cambios producidos en los combustibles vivos que conforman el estrato de superficie y de escala, compuestos, principalmente, por herbáceas, matorrales y regenerado de pinos y robles.

La reducción de la cobertura del combustible de escala por debajo del 25% garantiza estructuras de tipo C (poco vulnerables a fuego de copas), teniendo en cuenta que la distancia entre el estrato de superficie y las copas que componen el estrato aéreo es > 4 m. Los esqueletos de los matorrales muertos y las hojas quemadas pueden suponer un incremento de combustible muerto de 1 a 100 horas de forma transitoria, pero que en términos absolutos se ve compensado con la consumición de este rango de combustibles muertos, como efecto del fuego que ha quemado el combustible de superficie.

En las zonas donde el combustible de escala no se haya podido reducir al 25% de cobertura, la estructura resultante será una de tipo B (moderadamente vulnerable) y su evolución hacia una de tipo A dependerá de la cobertura del combustible de superficie.

La entrada de herbívoros de forma natural o con gestión ganadera posterior a la quema se considera una buena práctica para mantener y consolidar estructuras poco vulnerables. El efecto del ganado se concentra en inhibir la proliferación del combustible de superficie y la evolución del matorral a formar parte del combustible de escala.

QUEMA PRESCRITA EN UN BOSQUE MADURO DE PINO LARICIO

Localización

Municipios: Margalef y Cabacés (Priorat)	ZEC: ES5140017 «Serra de Montsant-Pas de l'Ase»	Superficie: 3,2 ha

Fecha de ejecución de la quema: septiembre de 2015

Objetivos

Quema para emular la acción natural de los fuegos de rayo en esta zona para mantener estructuras de pino laricio resistentes al fuego. Se persigue la eliminación del matorral y la regeneración herbácea para rebajar la carga de combustible y mejorar la continuidad vertical y horizontal de este.

Objetivos principales	Objetivos específicos
- Prevención de incendios forestales.	- Reducción de la carga de combustible.
- Formación y transferencia.	- Rejuvenecimiento de herbáceas.

Caracterización de la zona de actuación

Masa adulta de pino laricio con señales de fuegos, pero sin heridas. En general, esta estructura ocupa un espacio a lo largo de la cresta principal alternando espacios abiertos de matorral y hierba con pies dispersos o pequeñas agrupaciones de árboles. Zona de caída de rayos muy recurrente en la que se observan rodales de distinta densidad de matorral debido al efecto de los fuegos de rayo. El regenerado de pino laricio se distribuye por rodales de 0,5 a 1,5 m de altura acompañado de sotobosque de lastón, romero, aulaga, enebro y estepas con cobertura variable del 20 al 75 %. En el año 1982 se produjo un incendio forestal que afectó a la totalidad del rodal.

Características dasométricas del rodal

Calidad de estación	Fracción de cabida cubierta	Densidad arbórea (pies > 7,5 cm)	Diámetro medio	Área basimétrica	Altura media	Volumen con corteza	Edad	TVFoC[1]
	%	pies/ha	cm	m^2/ha	m	m^3/ha	años	
Baja	60	565	22,3	22,0	9,1	103	80-100	B8

[1] TVFoC: tipologías de vulnerabilidad al fuego de copas. Las estructuras de tipo A son muy vulnerables a generar fuegos de copas, las de tipo B son medianamente vulnerables y las de tipo C, muy poco vulnerables.

Caracterización del sotobosque del rodal

Especie arbustiva principal	Cobertura arbustiva	Altura media arbustiva	Cobertura no arbustiva		
			Herbácea	Musgo	Restos leñosos
	%	cm	%	%	%
Rosmarinus officinalis	37	105	59	14	52

Descripción de la actuación llevada a cabo

Trabajos previos

- Trabajos preparatorios del rodal. Se llevan a cabo un total de 1.000 m de líneas de defensa y un desbroce perimetral en torno a los pies de regenerado de pino laricio que pueden sufrir daños irreversibles que comprometan su viabilidad.
- Comunicación a la población. Avisos a los ayuntamientos afectados y a la prensa.

Ejecución de la quema

Meteorología	*Par*ámetros de ejecución de la quema
Temperatura media: 15,3 °C	Altura de la llama: < 2 m. Mortalidad: 0 %
Humedad relativa media: 57,33%	Altura de quema máx.-mín.: inferior a 1,5 m
Velocidad media del viento: 6,9 km/h	Altura de la primera rama viva: 4,5 m

Resultados obtenidos

Características dasométricas del rodal 2 años después del tratamiento

Calidad de estación	Fracción de cabida cubierta	Densidad arbórea (pies > 7,5 cm)	Diámetro medio	Área basimétrica	Altura media	Volumen con corteza	Edad	TVFoC[1]
	%	pies/ha	cm	m^2/ha	m	m^3/ha	años	
Baja	55	552	22,4	21,7	9,3	104	80-100	C9/C10

Caracterización del sotobosque del rodal 2 años después del tratamiento

Especie arbustiva principal	Cobertura arbustiva	Altura media arbustiva	Cobertura no arbustiva		
			Herbácea	Musgo	Restos leñosos
	%	cm	%	%	%
Rosmarinus officinalis	12	30	44	9	28

Valoración de la quema

Se puede considerar que se han alcanzado los objetivos propuestos en una proporción muy elevada en la parcela tratada, al haberse eliminado el estrato de vegetación que podía poner en peligro la vitalidad de las copas de los pinos laricio adultos en caso de un eventual incendio. En las zonas más abiertas, donde se situaba la implantación de regenerado de pino laricio de < 3 m, se considera que la proporción de pies vitales después de la quema será suficiente. Se prevé un notorio incremento de probabilidades de supervivencia de estos pies en caso de un eventual incendio.

Fotos de antes de la quema y 11 meses después de esta

Estimación de los rendimientos de ejecución de la quema

En el caso de Cataluña, las quemas de estructuras de pino laricio adultas, como esta, se encuentran, en la mayoría de los casos, en zonas de difícil acceso para vehículos rodados, lo que complica el despliegue de equipos de quema y, en consecuencia, condiciona los costes y rendimientos de esta. Los trabajos de preparación de parcela y retén posterior a la quema son más complejos porque implican más horas dedicadas solo al acceso a la parcela. El despliegue para la ejecución requiere una planificación más cuidadosa; se necesitan transportes de material durante los días previos a la quema y su recogida en días posteriores a la actuación, para aprovechar al máximo las ventanas.

En este caso, se destinaron unas 50 horas para la jornada de ejecución de las 3,2 ha de quema y 60 horas adicionales en preparación y retén, que aportan una idea de la proporción de reparto de esfuerzos característica de este tipo de parcelas de difícil acceso.

Lecciones aprendidas y recomendaciones

Se trata de quemas que representan un compromiso importante, tanto desde el punto de vista de la seguridad de la quema como del valor del hábitat tratado. La complejidad de acceso implica un equipo de control diferente al habitual en quemas accesibles, y que se compone generalmente de recursos de autobombas e instalaciones de mangueras de 25 mm. El control en parcelas remotas debe llevarse a cabo a partir de equipos de herramientas manuales, por lo que el responsable de la quema debe prever escenarios muy estables y una dirección de patrón de ignición exhaustiva para minimizar cambios de comportamiento del fuego.

La elección de la ventana de quema es más restringida que en otros escenarios para garantizar un determinado comportamiento del fuego, acorde con los objetivos que se pretende alcanzar. Asimismo, el control de los efectos sobre el hábitat requiere un grado de precisión superior por tratarse de rodales maduros que pueden superar los 200 años.

Por el contrario, la conducción de la quema y el patrón de ignición pueden ser más sencillos que en estructuras más jóvenes y pluriestratificadas, al tratarse de bosques con poco combustible de escala y una cobertura de superficie, en general, por debajo del 50%.

No obstante, debe prestarse especial atención a las fases de retén, que se pueden prolongar días si las condiciones de disponibilidad del grueso de materia orgánica son altas, como en las condiciones propias de finales de verano, cuando es habitual acumular altos valores de sequía que facilitan la combustión lenta de subsuelo.

Previsión de la evolución esperada

La eliminación del combustible de escala y la reducción del de superficie tendrán un efecto positivo en la preservación de la vitalidad de los pinos laricio adultos en caso de un eventual incendio. La cobertura del combustible de escala se mantendrá por debajo del 25% durante unos cuantos años en esta localización, ya que las especies de matorral que componen el sotobosque necesitan tiempo para alcanzar alturas superiores a los 130 cm.

La presencia de hierba nueva podrá constituir un elemento de atracción para los herbívoros naturales de la zona y facilitar el mantenimiento de un estrato de superficie con bajas cargas de matorral.

Life

PINASSA

PI NEGRAL

PINUS NIGRA

Life

NATURA 2000

Socios del proyecto Life+ PINASSA

Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació

Centre de la Propietat Forestal

CTFC

Generalitat de Catalunya
Departament d'Interior

Fundació Catalunya La Pedrera