2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1845

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025**.
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza

Parametrización de alternativas de gestión para la prevención de incendios y simulación del comportamiento potencial del fuego

BUSQUETS OLIVÉ, E. (1,2), VALOR IVARS, T. (3), TARDÓS ASCASO, P. (2), BELTRÁN BARBA, M. (2), CASALS TORTRAS, P. (2,4), LARRAÑAGA OTXOA A. (5), PIQUÉ NICOLAU, M. (2,4)

(1) Centro de Formación Profesional Integrada (CFPI) del sector forestal, Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación; Generalitat de Cataluña.

(2) Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC)

(3) Universidad Politécnica de Cataluña-BarcelonaTech (UPC).

(4) Unidad Mixta de Investigación CTFC-AGROTECNIO-CERCA.

(5) Bomberos GRAF; Departamento de Interior; Generalitat de Cataluña.

Resumen

La prevención de incendios forestales es uno de los principales retos de los gestores. Por ello son importantes herramientas que ayuden a la planificación de la prevención de incendios, que permitan identificar en qué tipos de bosques o estructuras forestales resulta más eficiente invertir en tratamientos y cuáles tienen un mayor impacto en el comportamiento del fuego.

En esta comunicación, se presenta el proceso de parametrización de diferentes tratamientos forestales, así como el efecto de estos en el comportamiento del fuego. La parametrización consiste en convertir los parámetros dasométricos típicos que caracterizan un rodal en métricas relacionadas con el comportamiento del fuego (modelos de combustible de superficie y copas) para su uso en simuladores de comportamiento del fuego. Se han parametrizado 3 escenarios de gestión: 1) Gestión forestal multifuncional centrada en la prevención de incendios, 2) Conversión a sistemas silvopastorales y 3) Quemas prescritas, para los principales bosques de Catalunya (9 tipologías) y tres estadios de desarrollo. En total se parametrizan las características selvícolas antes y después de la aplicación de 127 tratamientos, y se simula el comportamiento del fuego para cada caso. Los resultados se integrarán en sistemas de apoyo a la decisión, para la evaluación coste-eficiente de las alternativas de gestión y priorización de tratamientos.

Palabras clave

Selvicultura, Quemas prescritas, Silvopastoralismo, Modelos de combustible, Simulación comportamiento del fuego.

1. Introducción

En la presente comunicación se expone el proceso para la parametrización de diferentes estrategias de gestión forestal con el objetivo de generar paisajes más resilientes y menos propicios a generar Incendios Forestales Extremos (IFE). Esta parametrización se ha basado en las recomendaciones y conceptos generales

desarrollados en el WP1 del proyecto FIRERES, con un enfoque integrado para los IFE, y en las directrices específicas de gestión forestal y modelos silvícolas (ORGEST) disponibles para las principales especies forestales en Cataluña (PIQUÉ et al., 2017). Con este fin, se ha desarrollado un proceso para adaptar su uso en la planificación a nivel de rodal y en las decisiones de gestión forestal. Este proceso incluye la selección y el seguimiento de parámetros e indicadores forestales (ej. densidad de la masa, fracción cabida cubierta, cobertura estrato arbustivo, etc.) que deben (1) vincularse a los escenarios de gestión y a las condiciones pre y post tratamiento, y (2) transformarse en variables de uso en simuladores de incendios forestales, para evaluar el efecto de la gestión en el comportamiento del fuego. La previsión final, es integrar los resultados en Sistemas de Apoyo a la toma de Decisiones (SAD).

2. Objetivos

La presente comunicación tiene como objetivos:

1. Definir las diferentes tipologías de bosque (TFA), escenarios de gestión y parámetros dasométricos de las estructuras forestales antes y después de la aplicación de diferentes tratamientos.
2. Incorporar los parámetros antes y después del tratamiento para diferentes escenarios de gestión en simuladores de incendios y SAD. Específicamente, convertir los parámetros dasométricos de las estructuras forestales definidas antes y después del tratamiento en métricas relacionadas con el combustible necesarias en los simuladores de comportamiento del fuego.

3. Realizar una evaluación económica de los diferentes escenarios de gestión forestal.

3. Metodología3.1 Definición tipologías forestales

Los tipos de bosques en Cataluña se clasifican en coníferas (60%), bosques de Quercus (30%) y otros bosques minoritarios (10%). La mayoría de estos bosques están dominados por *Pinus halepensis, Pinus sylvestris, Pinus nigra, Pinus uncinata, Pinus pinea, Quercus ilex, Quercus pubescens, Quercus suber* y *Quercus faginea* (DGDRPF, 2016). No obstante, existen más de 160 tipos de bosques en Cataluña según la composición de especies, incluyendo 34 tipos de bosques puros y 128 tipos de bosques mixtos (PIQUÉ et al., 2014).

La parametrización de los diferentes escenarios de gestión forestal se ha realizado para las masas puras de las especies más representativas en Cataluña (Tabla 1):

Tabla 1. Principales tipologías forestales arboladas (TFA) de masas puras en Cataluña según el MFE25 (DGDRPF, 2016).

Tipología forestal arbolada de masas puras (TFA)	Superficie (ha)	% del área respeto al total de áreas forestales en Cataluña
***Pinus halepensis* (Ph)**	279.034	18 %
***Pinus sylvestris* (Ps)**	160.270	10 %
***Quercus ilex* (Qii)**	158.542	10 %
***Pinus nigra* (Pn)**	76.831	5 %
***Pinus uncinata* (Pu)**	63.940	4 %
***Quercus humilis* (Qh)**	56.781	4 %
***Quercus suber* (Qs)**	28.618	2 %
***Pinus pinea* (Ppa)**	15.440	1 %
***Quercus faginea* (Qf)**	11.991	1 %
Superficie Total	**851.447**	**55 %**

3.2 Definición de los escenarios y tratamientos de gestión forestal

El objetivo principal de la prevención de incendios y la gestión de combustibles es reducir la intensidad y la severidad de los Incendios Forestales (IF) mediante la reducción de la carga de combustible y generando estructuras menos vulnerables (LASANTA et al., 2018, 2022; PIQUÉ et al., 2022; PIQUÉ & DOMÈNECH, 2018; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2005; TARDÓS et al., 2019; VILÀ-VILARDELL et al., 2023).

En base a estas premisas, se han definido seis escenarios de gestión diferentes (Tabla 2), algunos de ellos siendo una combinación de diversos tratamientos de gestión.

Tabla 2. Definición de los escenarios de gestión forestal.

Escenario de gestión forestal	Descripción	Tratamiento de restos	Código del escenario		
Gestión forestal multifuncional centrada en la prevención de incendios	Tratamientos basados en directrices regionales y modelos silvícolas para la gestión forestal sostenible (	ORGEST	). Claras del estrato arbóreo y desbroce selectivo del sotobosque (cobertura final 20-30%).	Sin tratamiento de restos.	1.1
Tratamiento de restos mecanizado.			1.2		
Tratamiento de restos mediante quema prescrita.			1.3		
Conversión a sistema silvopastoral	Claras de alta intensidad (Fracción cabida cubierta final 30-40%) con extracción de árbol completo y desbroce selectivo del sotobosque (cobertura final 20-30%).	Tratamiento de restos mecanizado.	2.1		
Tratamiento de restos mediante quema prescrita.			2.2		
Quema prescrita	Eliminación de combustibles de superficie y escalera. Se espera que algunos árboles dominados mueran.	Quema prescrita directa sin tratamiento previo.	3		

3.3 Diseño de las estructuras pre y post tratamiento

Para cada TFA, se describen las características dasométricas pre y postratamiento para tres clases artificiales de edad (CAE): regenerado, joven y adulto, basándose en las ORGEST (PIQUÉ et al., 2017), conocimiento experto y literatura científica (PIQUÉ et al., 2022; PIQUÉ & DOMÈNECH, 2018; PIQUÉ & LARRAÑAGA, 2021). La Tabla 3 muestra un ejemplo de estructura pre y post tratamiento para los escenarios de gestión forestal (EGF) 1.1, 1.2 y 1.3 (gestión forestal multifuncional centrada en la prevención de incendios) y para la TFA de *Pinus halepensis* (Ph).

No se recomienda la conversión silvopastoral o el uso de la quema prescrita en regenerados. La conversión silvopastoral con claras intensas en etapas tan jóvenes puede comprometer la calidad y estabilidad de los árboles remanentes. La única excepción de conversión silvopastoral en regenerados corresponde a la tipología forestal *Pinus pinea* porqué esta se combina con un modelo de producción de piñón. Por otro lado, el uso de la quema prescrita en regenerados tampoco se ha contemplado puesto que, debido a las altas densidades de arbolado y continuidad vertical de combustible, así como menores diámetros de los árboles, se puede dar un comportamiento del fuego más descontrolado y mortalidad del arbolado.

Tabla 3. Ejemplo de diseño de estructuras pre y post tratamiento para la TFA de Ph y el escenario de gestión forestal multifuncional centrada en la prevención de incendios (EGF 1.1, 1.2 y 1.3).

CAE y descripción tratamiento	Hm (m)	FCC (%)	N (pies/ha)	DBH (cm)	AB (m^2/ha)	SC (%)	SH (m)
Bosque Regenerado							
Pretratamiento	5,0	≈ 100	6.000	9,0		> 50	> 1,3
Post 1.1 y 1.2 Clara pre comercial + desbroce selectivo + (sin tratamiento restos /tratamiento mecanizado)	6,0	≈ 70	1.800	11,9	20,0	< 30	< 1,3
Bosque Joven							
Pretratamiento	9,0	> 70	1.600	17,0	36,0	> 50	> 1,3
Post 1.1 y 1.2 Clara por lo bajo + desbroce selectivo + (sin tratamiento restos /tratamiento mecanizado)	12,0	≈ 70	850	19,0	25,0[1]	< 30	< 1,3
Post 1.3 Clara por lo bajo + desbroce selectivo + quema prescrita	13,0	60	723	20,0	23,1[2]	< 30	< 1,3
Bosque Adulto							
Pretratamiento	12,0	> 70	750	28,0	46,0	>50	> 1,3
Post 1.1 y 1.2 Clara mixta + desbroce selectivo + (sin tratamiento restos /tratamiento mecanizado)	14,0	≈ 70	500	28,0	31,5[3]	<30	< 1,3
Post 1.3 Clara mixta + desbroce selectivo + quema prescrita	15,0	60	425	31,0	32,1[1]	< 30	< 1,3

Hm: altura media arbolado; FCC: Fracción cabida cubierta; N: densidad; DBH: diámetro normal; AB: área basal; SC: cobertura arbustiva; SH: altura media arbustiva.

1 El AB pretratamiento se ha reducido -30%.

2 El AB pretratamiento se ha reducido -36%.

3 El AB pretratamiento se ha reducido -31.5%.

3.4 Estructura pretratamiento: asignación modelo de combustible de superficie

El primer paso consiste en la asignación de un modelo de combustible (SCOTT & BURGAN, 2005) en base al método de KRSNIK *et al.* (2020). Este método se basa en unos algoritmos basados en el conocimiento experto, dependiendo de la TFA, la FCC, la SC y tipo de clima (seco/húmedo).

Diversos parámetros de los modelos de combustible se ajustaron combinando datos del 4º Inventario Forestal Nacional (4IFN, DGDRPF, 2017). Como para cada EGF se distinguen tres CAE, las parcelas del IFN de cada TFA se categorizaron según la altura media de cada CAE. Los parámetros que se han modificado de los modelos de SCOTT & BURGAN (2005) son:

a) Cobertura arbustiva (SC) y Fuel Bed Depth (FBD): la SC de las especies para las diferentes TFA y CAE se obtiene a partir de los datos filtrados de las parcelas del 4IFN. La altura del combustible de superficie (FBD) se estima como la altura media del estrato arbustivo ponderada en función de la SC.

b) Cargas del combustible muerto de 1h y el vivo leñoso: las ecuaciones de DE CACERES *et al.* (2019) se han utilizado para ajustar las cargas de combustible, ya que estiman la carga de combustible leñoso vivo y establecen una proporción fino vivo y fino muerto. Las variables independientes de estas ecuaciones son el SC y FBD de cada especie arbustiva. Para el combustible muerto de 1h, se ha añadido 1/3 de la carga de combustible disponible en la copa (ACFL, t/ha) de la CAE correspondiente al pretratamiento para representar la caída de hojarasca.

c) Relación Superficie-Volumen (SAV) y contenido de calor de combustible (HPUA) del combustible vivo leñoso: estos valores fueron obtenidos de ELVIRA & HERNANDO (1989). Los valores por TFA y CAE se calcularon como la media ponderada de estos valores en base al fitovolumen (relación FBD y SC) de las especies arbustivas más representativas.

d) SAV y HPUA del combustible muerto de 1h: estos valores fueron obtenidos de DE CACERES *et al.* (2023) en función de cada TFA.

e) Humedad de extinción del combustible: en este caso, se ha ajustado los valores más altos a un máximo del 25% para alinearlos con los niveles observados en las diferentes TFA y CAE, basándose en las observaciones de comportamiento del fuego de los expertos.

3.5 Estructura pretratamiento: estimación de las métricas de copas del arbolado

En base a las diferentes variables definidas en los EGF para cada TFA se ha estimado las siguientes métricas:

a) Altura primera rama viva (CBH): para cada TFA, CAE y escenario se ha calculado usando la Hm y el método descrito en KRSNIK *et al.* (2020).

b) ACFL y densidad de copas (CBD): La ACFL se estimó utilizando los modelos de biomasa de RUIZ-PEINADO *et al.* (2011, 2012), con los parámetros las diferentes EGF como DBH y Hm. Se emplearon los modelos de ramas finas (Ø < 2 cm) y hojas multiplicando los resultados por 1/3 para evitar sobreestimaciones. La biomasa disponible se considera aquella Ø < 6mm. Estos modelos son de árbol individual y se escaló a t/ha multiplicándola por la N. Se asume una distribución uniforme del ACFL en el volumen de la copa, por lo que CBD se calculó dividiendo el ACFL por la profundidad de la copa (Hm-CBH).

3.6 Estructura postratamiento: modificación modelo de combustible de superficie

Los modelos de combustible se han modificado mediante factores multiplicativos que afectan diferentes parámetros (Tabla 4). Las cargas de combustible muerto en

los escenarios sin quema prescrita (1.1, 1.2 y 2.1) incrementan siendo menor en el escenario 2.1 ya que el aprovechamiento es de árbol entero. En cambio, los escenarios con quema (1.3, 2.2 y 3) estos se reducen considerablemente debido a su consumo. Referente al vivo leñoso su reducción es mayor siempre que hay gestión de restos mecanizada y/o quema. El FBD depende del escenario de gestión que se aplique y la intensidad de la quema.

3.7 Estructura postratamiento: modificación de las métricas de copas

Para los escenarios que no implican quemas prescritas (1.1, 1.2 y 2.1) estas métricas se han recalculado con la misma metodología del punto 3.5 y los datos postratamiento de los diferentes EGF. En cambio, para los que sí que implican quemas prescritas (1.3, 2.2 y 3) se evalúa la altura de chamuscado. Si esta altura es mayor al CBH, recalculado con los parámetros postratamiento, se fija la altura de chamuscado como CBH. Como se ha considerado que el ACFL se reparte homogéneamente el CBD se le reduce el mismo porcentaje que el incremento de CBH por el efecto de la poda térmica. La simulación de altura de chamuscado se hace en un escenario habitual en quemas prescritas (ver punto 3.8).

Tabla 4. Factores multiplicativos de las diferentes cargas de combustible según tipología y escenario de gestión con su FBD resultante.

Código escenario	W1h	W10h	W100h	WLh	WLw	FBD (cm)	Referencias
1.1	1,8	4	8	1	0,3	50	PIQUÉ *et al.* (2022); PIQUÉ & DOMENECH (2018); Criterio experto
1.2	1,8	4	8	1	0,2	25	PIQUÉ *et al.* (2022); PIQUÉ & DOMENECH (2018); Criterio experto
1.3	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1	10	PIQUÉ & DOMENECH (2018); Criterio experto
2.1	1,2	1,3	1,4	1	0,2	20	Criterio experto
2.2	0,1	0,3	0,6	0,1	0,1	15	Criterio experto
3	0,1	0,4	0,7	0,1	0,3	100	Criterio experto

W1h: carga combustible muerto 1h (<6mm); W10h: carga combustible muerto 10h (6-25mm); W100h: carga combustible muerto 100h (25-75mm); WLh: carga del combustible vivo herbáceo; WLw: carga del combustible vivo arbustivo; FBD: altura combustible de superficie en cm.

3.8 Análisis del efecto de los diferentes escenarios de gestión en el comportamiento del fuego

Para ello se ha empleado el simulador estático de rodal BehavePlus 6.0 (HEINSCH & ANDREWS, 2010) con el objetivo de comparar el comportamiento del fuego

potencial pre y postratamiento. Todos los parámetros de combustible necesarios se han definido en los anteriores puntos. A continuación, se definen los parámetros climáticos y de humedad de combustible necesarios para la simulación:

a) Escenario climático: se ha empleado un escenario generalista para todas las TFA en base a la regla general (30-30-30). Se considera que en un escenario con Temperaturas (T) ≥ 30ºC, Humedades Relativas (HR) ≤ 30% y Velocidades de Viento (VV) ≥ 30km/h puede propiciar un comportamiento de Gran Incendio Forestal (GIF). Por este motivo se ha fijado el valor 30 para las tres variables.

También se evalúa el efecto de la quema prescrita al combustible de copas con la altura de chamuscado. Para ello se usa un escenario específico para la ejecución de la quema (Tabla 5).

Tabla 5. Escenario meteorológico para la evaluación de la altura de chamuscado y su afectación al combustible de copas.

Zona climática	T (ºC)	HR (%)	VV (km/h)	
			Masa abierta[1] (FCC < 50%)	Masa cerrada[2] (FCC ≥ 50%)
Seco [3]	18	40	10	15
Húmedo [4]	12	60	10	15

1 Se consideran masas abiertas aquellas en las que se aplica el escenario de gestión forestal 2.2; 2 Se consideran masas cerradas aquellas en los que se aplican los escenarios de gestión forestal 1.3 y 3; 3 Se consideran zonas secas aquellas con una precipitación media en verano inferior a 150 mm; 4 Se consideran zonas húmedas aquellas con una precipitación media en verano superior a 150 mm.

b) Humedad de combustible: para la humedad del combustible muerto y herbáceo se ha tomado como referencia los valores de D2L2 de SCOTT & BURGAN (2005). Para la humedad foliar y arbustiva se ha usado los datos específicos de cada especie disponibles en DE CÁCERES et al. (2023). Tanto la humedad foliar como la arbustiva se emplea el Q2 del rango que se muestra en la base de datos. Para la humedad del arbustivo, como hay diversas especies, se ha fijado el valor con una media ponderada en base al fitovolumen de los datos de 4IFN.

Al evaluarse también el efecto de la quema en el combustible de copa para el combustible arbustivo y foliar se usa el Q3 de los datos expuestos anteriormente. Por lo que respeta al combustible muerto y herbáceo (Tabla 6) se usa la calculadora de BheavePlus con los datos expuestos anteriormente (Tabla 5).

Tabla 6. Humedades de combustible muerto y vivo herbáceo para la evaluación de la altura de chamuscado y su afectación al combustible de copas.

		Masa abierta[1] (FCC < 50%)	Masa cerrada[2] (FCC ≥ 50%)
Zona climática	Combustible	Humedad (%)	
Seco[3]	1h	10	11
	10h	11	12
	100h	12	13
	Herbáceo	100	120
Húmedo[4]	1h	13	14
	10h	14	15
	100h	15	16
	Herbáceo	110	130

1h: combustible muerto Ø < 6mm; 10h: combustible muerto Ø 6-25mm; 100h: combustible muerto Ø 25-75mm; 1 Se consideran masas abiertas aquellas en las que se aplica el escenario de gestión forestal 2.2; 2 Se consideran masas cerradas aquellas en los que se aplican los escenarios de gestión forestal 1.3 y 3; 3 Se consideran zonas secas aquellas con una precipitación media en verano inferior a 150 mm; 4 Se consideran zonas húmedas aquellas con una precipitación media en verano superior a 150 mm.

3.9 Evaluación económica de los escenarios de gestión

La evaluación económica consiste en el balance entre los costes de ejecución y los beneficios generados por la venta de la madera.

a) Costes de ejecución: estos costes se han basado en precios de mercado en contratos públicos, consultas a empresas privadas, precios calculados y pagados en diferentes proyectos europeos y referencias de informes técnicos (BOMBERS, 2019; PIQUÉ & LARRAÑAGA, 2021).

b) Beneficios de la venta de la madera: el valor final se obtiene en 4 pasos. Primero, se estima el volumen (m3/ha) extraído de cada escenario de gestión con alométricas especificas del IFN. Segundo, este volumen se pasa a peso (t/ha) con la densidad en verde de cada TFA porqué el mercado catalán va a peso. Tercero, el peso total de cada escenario se clasifica en diferentes productos (sierra, trituración y leña) según la clase diamétrica (CD) y especie que se aprovecha. Cuarto, se le asigna un precio final a cargador (€/t) a cada producto basado en los precios del mercado local.

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL
2025 | 16-20 GIJÓN | JUNIO

Figura 1. Esquema de la metodología generada para la parametrización de alternativas de gestión de prevención de incendios y comportamiento potencial del fuego.

4. Resultados

Las Tabla 7 y 8 muestran los resultados de la parametrización y la simulación del comportamiento del fuego de todas las TFA de los tres escenarios (1.1, 1.2 y 1.3) de gestión basados en la Gestión Forestal Multifuncional centrada en la Prevención de Incendios. Como se puede observar un tratamiento de clara no muy intensa (reducción AB ≈ -30%) en la mayoría de los casos presentan beneficios al reducir el comportamiento del fuego potencial entre un 70-100% respecto al pretratamiento. Esta reducción se convierte más notoria siempre que hay una gestión de los restos ya sea mecanizado (1.2) o mediante quema prescrita (1.3). La única excepción corresponde a los bosques de Pu en masas Jóvenes en el escenario 1.1 y en masas Adultas en los escenarios 1.1 y 1.2. Esto es debido a que el modelo de combustible de superficie antes del tratamiento es de baja vulnerabilidad (baja carga de combustible muerto y vivo) y al aplicar los tratamientos se incrementan notablemente las cargas de combustible muerto. El escenario 1.2 a pesar de que genere la misma carga de combustible que el 1.1 este reduce el FBD y por lo tanto incrementa la compactación que conlleva a comportamientos de fuego menos severos. En el caso del escenario 1.3 no solo se reduce el FBD sino que también reduce la carga de combustible. Por este motivo en todos los casos este escenario presenta mejoras en el comportamiento del fuego. Cabe destacar que el escenario de gestión 1.3 no se recomienda en masas de Qf (Tabla 8), en las condiciones establecidas, ya que las alturas de chamuscado en las simulaciones superan la altura total del arbolado y eso implicaría una mortalidad total. Por este motivo, se sugiere aplicar el escenario 1.3 en masas de Qf en unas condiciones más restrictivas: mayores humedades combustible y temperatura ambiente y velocidad de viento menores.

El balance económico de casi la totalidad de estos escenarios (Tabla 7 y 8) son negativos siendo los más negativos los escenarios 1.3. Este escenario presenta un coste fijo de aplicar quema prescrita de 1.950 €/ha que es muy superior a cualquier gestión de restos, el cual encarece bastante los costes de ejecución. Precisamente la mayoría de los balances positivos corresponden a la estrategia 1.1 dónde no hay gestión de restos. Los beneficios del balance sólo provienen del valor de la madera extraída y dependiendo de la Clasificación Artificial de Edad (CAE) los destinos, y por lo tanto su valor final, son muy variables. Las masas adultas son las que presentan porcentajes de producto con mayor valor, extraen más volumen y consecuentemente generan los mayores beneficios. A su vez, la mecanización total (procesadora y autocargador) incrementa los rendimientos y por lo tanto reduce los costes. Es por estos motivos que son solo en el escenario de gestión 1.1, los bosques adultos mecanizables de Ps, Pn, Pu, Qii y Qh los que presentan balances positivos en su ejecución. Las únicas excepciones aparecen en las masas adultas de Ps dónde en el escenario 1.1 ejecutado manualmente y el escenario 1.2 también presentan balances positivos. Estas excepciones están influenciadas por qué el EGF para esta especie y CAE es el que más volumen extrae (127 m3/ha) y tiene casi el 50% de este volumen destinado a sierra con la mayor valoración de todas las

especies con 52,75 €/t a cargador.

Las Tabla 9 y 10 muestran los resultados de la parametrización y la simulación del comportamiento del fuego de todas las TFA de los dos escenarios (2.1 y 2.2) de gestión basados en la conversión a sistemas silvopastorales. Como se puede observar un tratamiento adehesamiento (reducción AB ≈ - 40-70% y FCC ≈ 25-35%) en todos los casos presentan beneficios claros al reducir el comportamiento del fuego potencial entre un 70-100% respecto al pretratamiento. La única excepción, al igual que la Tabla 7 en los escenarios de gestión forestal multifuncional, corresponde a los bosques de Pu en masas Adultas en el escenario 2.1. Esto es debido a que el modelo de combustible de superficie antes del tratamiento es de baja vulnerabilidad y al aplicar los tratamientos se incrementan las cargas de combustible muerto. La reducción del comportamiento del fuego en todos los casos siempre es mayor cuando hay uso del fuego prescrito (2.2).

Si se comparan los resultados de las estrategias 2.1 y 2.2 con sus homólogos de las Tabla 7 y 8 (1.2 y 1.3) se puede observar como las conversiones silvopastorales presentan comportamientos de fuego ligeramente superiores a los de la gestión forestal multifuncional. Cabría esperar que las conversiones silvopastorales generando mucha menos carga de combustible muerto, ya que se hace aprovechamiento de árbol entero, comparado con la gestión forestal multifuncional esto fuera al revés. El motivo recae en la estructura arbórea post tratamiento y su coeficiente de fricción a la velocidad del viento (*Wind adjustment factor, WAF*). Los escenarios 1.2 y 1.3 presentan FCC ≈ 70% en comparación a los escenarios 2.1 y 2.2 que presentan FCC ≈ 25-35%. Esto hace que la velocidad del viento que acaba influyendo al fuego superficial sea mayor en sistemas silvopastorales, debido al menor WAF, y consecuentemente el comportamiento del fuego sea ligeramente superior al de gestión forestal multifuncional.

El balance económico en las conversiones silvopastorales (Tabla 9 y 10) presentan más escenarios con beneficios en comparación con la gestión multifuncional (Tablas 7 y 8). El total de escenarios con balance positivo en conversiones silvopastorales son 17, contabilizando la ejecución manual y mecanizada por separado, mientras que la gestión forestal multifuncional son 7. No solo se supera en cantidad de escenarios con balance positivo sino también con su cuantía. El escenario de gestión forestal multifuncional con el máximo de beneficio corresponde al 1.1 en masas Adultas de Ps con +1.504€/ha (Tabla 7). Mientras que el escenario en conversiones silvopastorales el máximo beneficio corresponde al 2.1 en masas Adultas de Ps con +3.795 €/ha (Tabla 9). Estas diferencias no son generadas sólo por el volumen de madera extraído sino también por el tipo de corta que se ejecuta. Los EFG para el caso de la gestión forestal multifuncional (1.1, 1.2 y 1.3) en CAE Jóvenes el volumen de madera extraído promedio es 30m3/ha y en Adultos 66 m3/ha. Añadiendo que en masas jóvenes las cortas buscan mayor discontinuidad vertical eliminando los pies dominados o con baja vitalidad (clara por lo bajo) que a su vez son los de menor valor comercial (trituración). En masas adultas ya es una clara mixta y por lo tanto la cantidad de producto de más valor (sierra) es mayor. Por lo que respeta a las conversiones a silvopastoralismo en masas jóvenes el volumen de madera extraído promedio es 111m3/ha (+266%) y en

Adultos 138m3/ha (+109%). Al ser cortas tan intensas tanto en masas jóvenes como adultas las claras se consideran que son mixtas y el valor final de la madera extraída es mayor. Los beneficios en este tipo de escenario son tales que incluso aplicando quemas de restos (2.2) en las masas adultas de Ps, Pn y Pu se obtienen balances positivos (Tabla 9).

Finalmente, las Tablas 11 y 12 muestran los resultados de la parametrización y la simulación del comportamiento del fuego de todas las TFA del escenario de gestión de quema prescrita directa (3). Como se puede observar esta estrategia de gestión es la que menos afecta al estrato arbóreo reduciendo la AB < 10% y la N ≈ 10% por la mortalidad inducida por el efecto del fuego. A pesar de ello, su afectación al combustible de superficie es tal que los resultados de la reducción del comportamiento del fuego no presentan diferencias significativas con las otras alternativas que emplean el fuego (1.3 y 2.2). La reducción del comportamiento del fuego potencial oscila entre el 66-100% respecto al pretratamiento. Hay que destacar que en 4 TFA (Pn, Pu, Qh y Qf) de las 9 totales, incluso la reducción del comportamiento del fuego es mayor que en las alternativas 1.3 y 2.2. También, cabe destacar que el escenario de gestión 3 no se recomienda en masas de jóvenes Ps (Tabla 8), en las condiciones establecidas, ya que las alturas de chamuscado estimadas en las simulaciones superan la altura total del arbolado y eso implicaría una mortalidad total. Por este motivo, se sugiere aplicar el escenario 3 en masas jóvenes de Ps en unas condiciones más restrictivas: mayores humedades combustible y temperatura ambiente y velocidad de viento menores.

Por lo que respeta el balance económico en el escenario 3 (Tablas 11 y 12) en todos los casos el balance es negativo correspondiendo a los gastos fijos de ejecución de la quema prescrita (-1.950€/ha). Aun así, si se compara con las otras alternativas expuestas en muchos casos sigue siendo menos negativo sobre todo cuando se ejecutan manualmente. El coste de ejecución de los otros escenarios, principalmente cuando hay gestión de restos, es muy superior al de la quema. Se puede afirmar que si solo se busca reducir el comportamiento del fuego el escenario 3 es una buena alternativa. Este escenario no presenta diferencias significativas en los valores finales de comportamiento del fuego en comparación al resto y su balance es menos negativo que muchas otras.

Tabla 7. Tabla resumen de la parametrización de la Gestión Forestal Multifuncional centrada en la Prevención de Incendios para las coníferas

		Pretratamiento						Postratamiento															
											1.1 Sin tratamiento restos				1.2 Tratamiento mecanizado de restos							1.3 Quema prescrita de restos			
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B	TiIn	FLML	FLI	€B	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B
Ph	R	5,0	38,0	6.000	A	17,8	17.262	6,0 20%	20,0 -47%	1.800 -70%	A > S	1,4 -92%	554 -97%	-3.500 -2.450	A > S	0,3 -98%	16 -100%	-3.450	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	36,0	1.600	A	17,1	16.244	12,0 33%	25,0 -31%	850 -47%	A > S	1,4 -92%	504 -97%	-1.911 -1.071	A > S	0,3 -98%	15 -100%	-1.921	13,0 44%	23,1 -36%	723 -55%	A > S	0,2 -99%	6 -100%	-3.861 -3.021
	A	12,0	46,0	750	A	16,9	15.973	14 17%	31,5 -32%	500 -33%	A > S	1,2 -93%	416 -97%	-1.471 -601	A > S	0,2 -99%	12 -100%	-1.501	15,0 25%	32,1 -30%	425 -43%	A > S	0,2 -99%	4 -100%	-3.421 -2.551
Ps	R	6,0	25,0	2.500	A	13,0	10.750	8,5 42%	18,0 -28%	1.600 -36%	A > P	7,4 -43%	4.629 -57%	-2.500 -1.750	A > S	1,1 -92%	336 -97%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,5	35,0	1.250	P	10,4	7.746	16,0 52%	24,2 -31%	700 -44%	P > S	2,3 -78%	1.612 -79%	-2.091 -1.251	P > S	1,1 -89%	315 -96%	-2.101	17,0 62%	22,4 -36%	595 -52%	P > S	0,4 -96%	35 -100%	-4.041 -3.201
	A	14,0	50,0	850	P	9,7	6.975	18,0 29%	35,0 -30%	500 -41%	P > S	2,4 -75%	1.703 -76%	634 1.504	P > S	1,1 -89%	321 -95%	604	19,0 36%	32 -36%	425 -50%	P > S	0,4 -96%	34 -100%	-1.316 -446
Pn	R	6,0	25,0	2.500	P	14,7	12.919	11,0 83%	19,0 -24%	1.850 -26%	=	8,1 -45%	5.333 -59%	-2.500 -1.750	P > S	1,2 -92%	387 -97%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,0	40,0	1.100	P	13,8	11.815	18,0 38%	32,0 -20%	700 -36%	P > S	2,5 -82%	1.939 -84%	-2.023 -1.183	P > S	1,1 -92%	325 -97%	-2.033	19,0 46%	29,2 -27%	595 -46%	P > S	0,4 -97%	35 -100%	-3.973 -3.133
	A	18,0	40,0	500	P	11,1	8.567	20,0 11%	31,0 -23%	350 -30%	P > S	2,5 -77%	1.912 -78%	-348 522	P > S	1,1 -90%	321 -96%	-378	21,0 17%	27,0 -33%	298 -40%	P > S	0,5 -95%	68 -99%	-2.298 -1.428
Pu	R	6,5	23,0	1.600	P	10,0	7.225	9,0 38%	17,0 -26%	1.100 -31%	=	7,6 -24%	4.827 -33%	-2.500 -1.750	=	4,1 -59%	1.923 -73%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	12,5	33,0	1.100	S	2,2	1.425	14,5 16%	25,0 -24%	700 -36%	=	3,1 41%	3.017 112%	-2.103 -1.263	=	2,1 -5%	1.257 -12%	-2.113	15,5 24%	23,1 -30%	595 -46%	=	0,4 -82%	45 -97%	-4.053 -3.213
	A	16,0	40,0	700	S	1,7	820	18,0 13%	30,0 -25%	500 -29%	=	2,9 71%	2.687 228%	-760 110	=	2 18%	1164 42%	-790	19 19%	27,4 -32%	425 -39%	=	0,4 -76%	33 -96%	-2.710 -1.840
Ppa	R	5,5	16,0	1.500	A	13,9	11.896	9,0 64%	12,0 -25%	950 -37%	A > S	1,3 -91%	459 -96%	-2.500 -1.750	A > S	0,3 -98%	17 -100%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	11,0	30,0	650	P	11,8	9.362	14,0 27%	22,5 -25%	400 -38%	P > S	1,2 -90%	398 -96%	-2.149 -1.309	P > S	0,3 -97%	16 -100%	-2.159	15 36%	20,9 -30%	340 -48%	P > S	0,2 -98%	9 -100%	-4.099 -3.259
	A	15,0	30,0	350	S	3,1	3.043	17,0 13%	22,5 -25%	225 -36%	=	1,2 -61%	392 -87%	-1.357 -487	=	0,3 -90%	16 -99%	-1.387	18 20%	20,4 -32%	190 -46%	=	0,2 -94%	9 -100%	-3.307 -2.437

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Bas(m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas (**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora y en amarillo un empeoramiento en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos. Si la celda de €B hay dos precios el primero corresponde a la ejecución manual y el otro a la ejecución 100% mecanizada. En el caso de solo haber un precio corresponde a la ejecución 100% mecanizada.

Tabla 8. Tabla resumen de la parametrización de la Gestión Forestal Multifuncional centrada en la Prevención de Incendios para las frondosas.

		Pretratamiento						Postratamiento															
											1.1 Sin tratamiento restos				1.2 Tratamiento mecanizado de restos							1.3 Quema prescrita de restos			
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B	TiIn	FLML	FLI	€B	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B
Qii	R	5,5	18,0	3.500	A	3,0	2.902	7,0 27%	16,6 -8%	1.750 -50%	A > S	1,3 -57%	480 -83%	-2.500 -1.750	A > S	0,3 -90%	20 -99%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,0	25,4	1.000	P	3,5	4.071	12,0 20%	29,1 15%	700 -30%	P > S	1,3 -63%	428 -89%	-1.744 -904	P > S	0,3 -91%	19 -100%	-1.754	13,0 30%	26,1 3%	595 -41%	P > S	0,3 -91%	13 -100%	-3.694 -2.854
	A	12,0	32,0	600	P	13,8	11.833	14,0 17%	22,0 -31%	400 -33%	P > S	1,6 -88%	427 -96%	-621 250	P > S	0,3 -98%	18 -100%	-650	15,0 25%	33,1 3%	340 -43%	P > S	0,2 -99%	12 -100%	-2.571 -1.701
Qh	R	5,5	18,0	3.500	P	12,5	10.189	7,0 27%	19,0 6%	2.000 -43%	=	12,5 0%	10.222 0%	-2.500 -1.750	=	7,8 -38%	4.970 -51%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,5	25,0	1.000	P	8,1	5.305	15,0 11%	19,0 -24%	700 -30%	=	5,3 -35%	2.790 -47%	-1.829 -989	P > S	1,6 -80%	761 -86%	-1.839	16,0 19%	26,1 4%	595 -41%	P > S	0,4 -95%	42 -99%	-3.779 -2.939
	A	15,0	32,0	600	P	8,1	5.288	16,0 7%	24,0 -25%	420 -30%	=	5,1 -37%	2.652 -50%	-516 354	P > S	1,6 -80%	754 -86%	-546	17,0 13%	32,5 2%	357 -41%	P > S	0,4 -95%	41 -99%	-2.466 -1.596
Qs	R	5,0	12,0	1.000	P	7,5	4.697	7,0 40%	10,0 -17%	950 -5%	P > S	1,4 -81%	503 -89%	-2.500 -1.750	P > S	0,3 -96%	23 -100%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	20,0	800	P	9,4	6.655	11,0 22%	17,0 -15%	640 -20%	P > S	1,3 -86%	453 -93%	-2.644 -1.804	P > S	0,3 -97%	20 -100%	-2.654	12,0 33%	20,0 0%	544 -32%	P > S	0,3 -97%	14 -100%	-4.594 -3.754
	A	12,0	26,5	400	P	8,8	6.059	13,0 8%	21,0 -21%	320 -20%	P > S	1,3 -85%	444 -93%	-2.490 -1.620	P > S	0,3 -97%	19 -100%	-2.520	14,0 17%	25,8 -3%	272 -32%	P > S	0,3 -97%	14 -100%	-4.440 -3.570
Qf	R	5,5	18,0	3.500	P	14,4	12.591	7,0 27%	12,5 -31%	1.200 -66%	=	13,4 -7%	11.323 -10%	-2.500 -1.750	P > S	2,2 -85%	1.510 -88%	-2.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	25,0	1.100	P	11,5	8.969	11,0 22%	19,0 -24%	770 -30%	P > S	3,7 -68%	4.372 -51%	-2.025 -1.185	P > S	2,0 -83%	1.128 -87%	-2.035	12,0 33%	27,0 8%	655 -40%	-	-	-	-
	A	10,0	25,0	600	P	10,8	8.181	12,0 20%	19,0 -24%	420 -30%	P > S	3,6 -67%	4.287 -48%	-1.584 -714	P > S	2,0 -81%	1.112 -86%	-1.614	13,0 30%	25,2 1%	357 -41%	-	-	-	-

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Basal (m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas (**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora y en amarillo un empeoramiento en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos. Si la celda de €B hay dos precios el primero corresponde a la ejecución manual y el otro a la ejecución 100% mecanizada. En el caso de solo haber un precio corresponde a la ejecución 100% mecanizada.

Tabla 9. Tabla resumen de la parametrización de las Conversiones a Sistemas Silvopastorales para las coníferas

		Pretratamiento						Postratamiento										
											2.1 Tratamiento mecanizado de restos				2.2 Quema prescrita de restos			
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B	TiIn	FLML	FLI	€B
Ph	R	5,0	38,0	6.000	A	17,8	17.262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	36,0	1.600	A	17,1	16.244	12,0 33%	11,6 -68%	300 -81%	A > S	1,1 -94%	316 -98%	-676	A > S	0,5 -97%	60 -100%	-2.996 -1.976
	A	12,0	46,0	750	A	16,9	15.973	14,0 17%	25,2 -45%	200 -73%	A > S	1,3 -92%	455 -97%	123	A > S	0,6 -96%	86 -99%	-2.407 -1.327
Ps	R	6,0	25,0	2.500	A	13,0	10.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,5	35,0	1.250	P	10,4	7.746	16,0 52%	12,4 -65%	250 -80%	P > S	1,6 -85%	722 -91%	339	P > S	0,5 -95%	53 -99%	-1.981 -961
	A	14,0	50,0	850	P	9,7	6.975	18,0 29%	17,8 -64%	175 -79%	P > S	2,1 -78%	1.367 -80%	3.795	P > S	0,6 -94%	100 -99%	1.265 2.345
Pn	R	6,0	25,0	2.500	P	14,7	12.919	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,0	40,0	1.100	P	13,8	11.815	18,0 38%	20,0 -50%	300 -73%	P > S	1,6 -88%	728 -94%	915	P > S	0,5 -96%	67 -99%	-1.405 -385
	A	18,0	40,0	500	P	11,1	8.567	20,0 11%	20,0 -50%	150 -70%	P > S	2,1 -81%	1.272 -85%	2.934	P > S	0,7 -94%	116 -99%	404 1.484
Pu	R	6,5	23,0	1.600	P	10,0	7.225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	12,5	33,0	1.100	S	2,2	1.425	14,5 16%	13,3 -60%	250 -77%	=	2,1 -5%	1.292 -9%	561	=	0,5 -77%	50 -96%	-1.759 -739
	A	16,0	40,0	700	S	1,7	820	18,0 13%	15,2 -62%	150 -79%	=	2,8 65%	2.414 194%	2.865	=	0,5 -71%	61 -93%	335 1.415
Ppa	R	5,5	16,0	1.500	A	13,9	11.896	9,0 64%	7,0 -56%	400 -73%	A > S	1,0 -93%	264 -98%	-3.030	-	-	-	-
	J	11,0	30,0	650	P	11,8	9.362	14,0 27%	21,0 -30%	225 -65%	P > S	1,0 -92%	249 -97%	-869	P > S	0,4 -97%	44 -100%	-3.189 -2.169
	A	15,0	30,0	350	S	3,1	3.043	17,0 13%	21,0 -30%	125 -64%	=	1,3 -58%	427 -86%	-242	=	0,6 -81%	72 -98%	-2.772 -1.692

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Basal (m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas (**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora y en amarillo un empeoramiento en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos. Si la celda de €B hay dos precios el primero corresponde a la ejecución manual y el otro a la ejecución 100% mecanizada. En el caso de solo haber un precio corresponde a la ejecución 100% mecanizada.

Tabla 10. Tabla resumen de la parametrización de las Conversiones a Sistemas Silvopastorales para las frondosas

		Pretratamiento						Postratamiento										
											2.1 Tratamiento mecanizado de restos				2.2 Quema prescrita de restos			
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B	TiIn	FLML	FLI	€B
Qii	R	5,5	18,0	3.500	A	3,0	2.902	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,0	25,4	1.000	P	3,5	4.071	12,0 20%	15,0 -41%	350 -65%	P > S	0,9 -74%	218 -95%	680	P > S	0,5 -86%	49 -99%	-1.640 -620
	A	12,0	32,0	600	P	13,8	11.833	14,0 17%	25,0 -22%	250 -58%	P > S	1,0 -93%	252 -98%	969	P > S	0,5 -96%	54 -100%	-1.561 -481
Qh	R	5,5	18,0	3.500	P	12,5	10.189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,5	25,0	1.000	P	8,1	5.305	15,0 11%	12,0 -52%	350 -65%	P > S	1,8 -78%	976 -82%	1.057	P > S	0,4 -95%	45 -99%	-1.264 -244
	A	15,0	32,0	600	P	8,1	5.288	16,0 7%	22,0 -31%	275 -54%	P > S	2,4 -70%	1.791 -66%	1.284	P > S	0,6 -93%	82 -98%	-1.246 -166
Qs	R	5,0	12,0	1.000	P	7,5	4.697	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	20,0	800	P	9,4	6.655	11,0 22%	15,0 -25%	325 -59%	P > S	0,9 -90%	225 -97%	-2.192	P > S	0,5 -95%	48 -99%	-4.512 -3.492
	A	12,0	26,5	400	P	8,8	6.059	13,0 8%	25,0 -6%	225 -44%	P > S	1 -89%	245 -96%	-2.123	P > S	0,5 -94%	52 -99%	-4.653 -3.573
Qf	R	5,5	18,0	3.500	P	14,4	12.591	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	25,0	1.100	P	11,5	8.969	11,0 22%	12,0 -52%	400 -64%	P > S	2,6 -77%	2.049 -77%	-140	P > S	0,7 -94%	134 -99%	-2.460 -1.440
	A	10,0	25,0	600	P	10,8	8.181	12,0 20%	22,0 -12%	300 -50%	P > S	2,6 -76%	2.038 -75%	-827	P > S	0,7 -94%	132 -98%	-3.357 -2.277

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Basal (m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas

(**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos. Si la celda de €B hay dos precios el primero corresponde a la ejecución manual y el otro a la ejecución 100% mecanizada. En el caso de solo haber un precio corresponde a la ejecución 100% mecanizada.

Tabla 11. Tabla resumen de la parametrización de las Quemas Prescritas directas para las coníferas

		Pretratamiento						Postratamiento						
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B
Ph	R	5,0	38,0	6.000	A	17,8	17.262	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	36,0	1.600	A	17,1	16.244	9,5 6%	35,4 -2%	1.400 -13%	A > S	0,9 -95%	225 -99%	-1.950
	A	12,0	46,0	750	A	16,9	15.973	12,5 4%	44,5 -3%	675 -10%	A > S	0,5 -97%	65 -100%	-1.950
Ps	R	6,0	25,0	2.500	A	13,0	10.750	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,5	35,0	1.250	P	10,4	7.746	-	-	-	-	-	-	-
	A	14,0	50,0	850	P	9,7	6.975	14,5 4%	46,7 -7%	765 -10%	P > S	1,1 -89%	335 -95%	-1.950
Pn	R	6,0	25,0	2.500	P	14,7	12.919	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,0	40,0	1.100	P	13,8	11.815	13,5 4%	37,7 -6%	990 -10%	P > S	0,4 -97%	31 -100%	-1.950
	A	18,0	40,0	500	P	11,1	8.567	18,5 3%	37,3 -7%	450 -10%	P > S	0,4 -96%	29 -100%	-1.950
Pu	R	6,5	23,0	1.600	P	10,0	7.225	-	-	-	-	-	-	-
	J	12,5	33,0	1.100	S	2,2	1.425	13,0 4%	31,2 -5%	990 -10%	=	0,4 -82%	46 -97%	-1.950
	A	16,0	40,0	700	S	1,7	820	16,5 3%	37,3 -7%	630 -10%	=	0,3 -82%	21 -97%	-1.950
Ppa	R	5,5	16,0	1.500	A	13,9	11.896	-	-	-	-	-	-	-
	J	11,0	30,0	650	P	11,8	9.362	11,5 5%	32,3 8%	585 -10%	P > S	1,3 -89%	462 -95%	-1.950
	A	15,0	30,0	350	S	3,1	3.043	15,5 3%	31,2 4%	315 -10%	=	1,3 -58%	439 -86%	-1.950

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Basal (m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas (**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos.

Tabla 12. Tabla resumen de la parametrización de las Quemas Prescritas directas para las frondosas.

		Pretratamiento						1. Quema prescrita directa						
TFA	CAE	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	Hm	AB	N	TiIn	FLML	FLI	€B
Qii	R	5,5	18,0	3.500	A	3,0	2.902	-	-	-	-	-	-	-
	J	10,0	25,4	1.000	P	3,5	4.071	10,5 5%	23,8 -6%	900 -10%	P > S	1,2 -66%	418 -90%	-1.950
	A	12,0	32,0	600	P	13,8	11.833	12,5 4%	29,9 -7%	540 -10%	P > S	1,2 -91%	412 -97%	-1.950
Qh	R	5,5	18,0	3.500	P	12,5	10.189	-	-	-	-	-	-	-
	J	13,5	25,0	1.000	P	8,1	5.305	14,0 4%	23,8 -5%	900 -10%	P > S	0,3 -96%	19 -100%	-1.950
	A	15,0	32,0	600	P	8,1	5.288	15,5 3%	30,0 -6%	540 -10%	P > S	0,3 -96%	19 -100%	-1.950
Qs	R	5,0	12,0	1.000	P	7,5	4.697	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	20,0	800	P	9,4	6.655	9,5 6%	19,0 -5%	720 -10%	P > S	0,5 -95%	66 -99%	-1.950
	A	12,0	26,5	400	P	8,8	6.059	12,5 4%	24,2 -9%	360 -10%	P > S	0,5 -94%	60 -99%	-1.950
Qf	R	5,5	18,0	3.500	P	14,4	12.591	-	-	-	-	-	-	-
	J	9,0	25,0	1.100	P	11,5	8.969	9,5 6%	23,0 -8%	990 -10%	P > S	0,4 -97%	36 -100%	-1.950
	A	10,0	25,0	600	P	10,8	8.181	10,5 5%	23,5 -6%	540 -10%	P > S	0,4 -96%	34 -100%	-1.950

TFA: Tipología Forestal Arbolada; **CAE:** Clase Artificial de Edad – Regenerado (**R**), Joven (**J**) o Adulto (**A**); **Hm:** Altura media arbolado (m); **AB:** Área Basal (m2/ha); **N:** Densidad (pies/ha); **TiIn:** Tipología incendio – Activo de copas (**A**), Pasivo de copas (**P**) o Superficie (**S**); **FLML:** Longitud de llama (m); **FLI:** Intensidad de llama (kW/m); **€B:** Balance económico.

Los porcentajes representan el cambio de las diferentes variables respecto al pretratamiento. Los porcentajes en verde representan una mejora en relación con las condiciones de comportamiento del fuego antes y después de los tratamientos.

5. Discusión

Se ha presentado una metodología y resultados de la parametrización de diferentes escenarios de gestión forestal con el objetivo de prevención de incendios forestales. Estos resultados son de interés para su uso en sistemas de ayuda a la decisión (SAD), como por ejemplo PREVINCAT (KRSNIK et al., 2020). Actualmente PREVINCAT permite localizar zonas prioritarias para la prevención de incendios forestales en base a un análisis multicriterio (KRSNIK et al., 2024). En una siguiente fase PREVINCAT prevé integrar un SAD para la optimización de la gestión forestal en función de un presupuesto y/o superficie potencial a gestionar. KRSNIK et al. (2024) basa el análisis multicriterio en 5 criterios que a su vez se dividen en un total de 22 subcriterios. Dos de estos 5 criterios son: el combustible y el comportamiento del fuego. Por este motivo la parametrización de como diferentes escenarios de gestión modifican los subcriterios de combustible (CBH, FCC, CBD, SC y discontinuidad vertical ≈ CBH-FBD) y comportamiento del fuego (FLML, FLI y velocidad de propagación ≈ ROS) son clave para el modelo de optimización del PREVINCAT.

Cabe anotar que los resultados de un modelo de optimización siempre serán orientativos y requerirán a nivel operativo de una validación en campo y posterior ajuste en función de lo observado. La metodología expuesta, la cual se puede consultar más en detalle en FIRE-RES (2025), permite re-parametrizar las estructuras en función de los valores observados y analizar de forma más ajustada

el efecto de los escenarios de gestión en el comportamiento del fuego. A su vez, esta metodología permite evaluar el efecto de otros escenarios de gestión no predefinidos (Tabla 2), siempre y cuando se conozca como estos modifican las variables dasométricas y de combustible, bases en las cuales se sustenta la metodología.

La metodología utilizada es robusta y el uso de datos y alométricas particulares de la región permite generar modelos de combustible propios, sin embargo hay ciertas asunciones que se podrían mejorar con estudios aplicados. El combustible de copas podría ajustarse mejor si la alométrica fuese específica para el combustible fino disponible (Ø<6mm), como existe en Grecia para *Pinus halepensis* (MITSOPOULOS & DIMITRAKOPOULOS, 2007). Una alométrica para estimar una categoría tan amplia como hojas y ramas pequeñas (Ø<2cm) que nos ofrece RUIZ-PEINADO et al. (2011, 2012) obliga aplicar un factor multiplicador (1/3) para no sobreestimar el ACFL/CBD. Para ciertos escenarios de gestión hay muy poco o directamente no existen referencias, con inventarios de campo, de cómo estas afectan a los diferentes parámetros del combustible de superficie y copas. Ejemplos de ello son las conversiones silvopastorales (2.1, 2.2) y las quemas prescritas directas (3). Sería ideal poder disponer de mayores estudios aplicados con inventarios de combustible (PRICHARD ET AL., 2019; SIKKINK ET AL., 2009; SIKKINK & KEANE, 2008) que ayuden a parametrizar mejor el efecto de estos escenarios en los diferentes parámetros de la masa forestal.

Hay que destacar que la simulación del comportamiento del fuego se analiza a nivel de rodal y en un escenario meteorológico estático común para todas las TFA. Para evaluar su efecto a nivel de paisaje en el contexto de diferentes incendios tipo se requeriría emplear simuladores de paisaje (ej. FlamMap) con escenarios meteorológicos dinámicos. Aun así los modelos actuales (ROTHERMEL, 1972; SCOTT & BURGAN, 2005) no permiten simular el comportamiento de incendios forestales extremos (IFE). Lo que sí permiten los recursos actuales son estimaciones de una variable clave de los estadios previos a un IFE como es la FLI (kW/m). Según la unidad GRAF de Bombers de la Generalitat de Catalunya el límite observado de FLI para desarrollar IFE son unos 8.400 kW/m. Por lo tanto, todas las alternativas de gestión que se propongan deberían generar FLI por debajo del límite observado. En esta comunicación el escenario meteorológico usado para la simulación ha sido común en todas las TFA con el objetivo de poder comparar mejor entre ellas el efecto de los diferentes escenarios de gestión. La realidad, pero es que las condiciones meteorológicas en las que se encuentran las diferentes TFA dependen mucho de la zona. En FIRERES (2025) se pueden observar los resultados con diferentes escenarios meteorológicos propicios a generar GIF (BUSQUETS et al., 2019), más ajustados a la distribución natural de las diferentes TFA. La metodología para generar estos escenarios meteorológicos se describe en KRSNIK et al. (2020).

En el balance económico, en este caso sólo se han valorado los ingresos por la venta de madera, pero hay TFA que generan productos no madereros de valor como son el corcho en *Quercus suber* o el piñón en *Pinus pinea*. Tampoco se han tenido en cuenta posibles ingresos derivados de otros servicios ecosistémicos. A su

vez, en sistemas silvopastorales sería adecuado poder estimar los beneficios anuales que aportan el ganado. Esto, pero se debería hacer con modelos de proyección a corto-medio plazo, dónde también se vea la evolución de la vegetación en los diferentes escenarios de gestión. En cualquier caso, los sistemas silvopastorales tienen unos costes indirectos fijos que se deberían contemplar como son: puntos de agua (≈350€/u), balla electrificada (≈1.850€/km) y/o cobertizo (≈15.000€/u). Los resultados expuestos en esta comunicación son mayormente negativos, pero hay que tener en cuenta que los criterios de los escenarios de gestión son de prevención de incendios y no productivos. En los regenerados no hay ningún tipo de beneficio porqué el producto que se corta no cumple con las dimensiones mínimas de comercialización. En las masas clasificadas como jóvenes las cortas son claras por lo bajo lo que implica que el producto generado suele ser de bajo valor y en las masas adultas al ser claras mixtas hay un porcentaje mayor de productos más valorados. Los escenarios de Gestión Forestal Multifuncional integrando Prevención de Incendios Forestales (1) al no abrir mucho la masa y mantener FCC≈70% implica que las cortas no son muy intensas y consecuentemente el volumen extraído es bajo. En bosques jóvenes el volumen medio extraído es de 30 m^3/ha, y para los bosques adultos, el volumen medio es de 66 m^3/ha. Como referencia, el camión habitual empleado para transportar la madera tiene una capacidad de 30 m^3 y según expertos en gestión forestal el volumen mínimo a extraer para poder obtener beneficios tiene que ser de ≥60m3/ha. A diferencia de una gestión productiva, en prevención de incendios se aplican tratamientos para mejorar la estructura y la vulnerabilidad a IFE que encarecen mucho los costes (ej. trituración restos, quema prescrita, etc.). La mecanización total de los tratamientos no solo se presenta como una oportunidad para la mejora de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL) de los trabajadores (GARCIA et al., 2023) sino también como una oportunidad para incrementar rendimientos y reducir costes respecto a la gestión manual (ALCOVERRO et al., 2024). Por otro lado, los tratamientos de quema prescrita también encarecen bastante la gestión, pero hay que tener en cuenta que se ha contado el coste de un primer tratamiento, alrededor de 1950 €/ha. En el caso de sucesivas quemas de mantenimiento los costes se reducen a entre 650-1000 €/ha (PIQUÉ & LARRAÑAGA, 2021).

6. Conclusiones

Tras presentar la metodología y resultados de la parametrización de 6 escenarios de gestión para la prevención de incendios forestales en los principales tipos forestales de Cataluña, las conclusiones principales son:

- La metodología expuesta permite evaluar el efecto de la gestión en el comportamiento del fuego. Es una metodología que se puede aplicar a cualquier otro escenario de gestión siempre y cuando se conozcan como este afecta a los diferentes parámetros que caracterizan el rodal, dasométricos y del combustible.
- La metodología ha permitido generar modelos de combustible de superficie y copas específicos para las 9 TFA de masas puras en Cataluña.

- Para mejorar el proceso y resultado de parametrización sería más preciso disponer de alométricas específicas de variables clave (ej. ACFL, CBD) y

ejecutar más estudios aplicados de cómo afectan los diferentes escenarios de gestión a los parámetros de la masa forestal, haciendo hincapié en tratamientos silvopastorales y de quemas prescritas directas.

- Los resultados se prevén incluir en el SAD PREVINCAT mediante un modelo de optimización que sugiera la mejor combinación de escenarios de gestión, en las diferentes zonas prioritarias para prevención de incendios, en base a un presupuesto y/o superficie a gestionar.

- Los resultados demuestran que en la mayoría de los casos las reducciones del comportamiento del fuego oscilan entre el 70-100% y el fuego está dentro de capacidad de extinción (COSTA et al., 2011). La única excepción en la cual el comportamiento resultante es mayor que en el pretratamiento es en la tipología de bosque de *Pinus uncinata* en los escenarios 1.1 y 1.2. El motivo es porqué la estructura pretratamiento es de baja vulnerabilidad y la gestión propuesta incrementa considerablemente el combustible muerto (restos de corta).
- El escenario 1.1 (sin gestión de restos) es el que peores resultados da por lo que respecta al comportamiento del fuego. A diferencia de los otros escenarios, es el único que incluso después del tratamiento en algunos casos hay un fuego pasivo de copas (ej. Ps, Pn, Pu, Qh y Qf) y la FLI supera el límite de 8.500 kW/m para iniciar un IFE (ej. Qh y Qf). En algunos casos, pero es de las alternativas con el balance económico menos negativo.

- Los escenarios que mejores resultados de comportamiento del fuego dan son aquellos que incluyen el uso del fuego (1.3, 2.2 y 3). El uso del fuego prescrito no solo reduce considerablemente la carga del combustible muerto y vivo de superficie, sino que también mejora en algunos casos la estructura y carga del combustible de copas con la poda térmica (altura chamuscado). Las cargas de combustible muerto fino (W1h) se considera que son los principales motores de propagación del fuego (ROTHERMEL, 1983).
- La gestión de restos, ya sea compactándolos con la trituración o reduciéndolos en carga con la quema prescrita, es muy recomendable si se quiere obtener valores de comportamiento del fuego dentro de capacidad de extinción (COSTA et al., 2011).
- Aunque las diferencias no sean significativas, el comportamiento del fuego simulado en sistemas silvopastorales (FCC≈25-35%) es más crítico que en el caso de la gestión forestal multifuncional (FCC≈70%). El motivo es que, a pesar de tener menos carga de combustible de superficie por el aprovechamiento de árbol entero, el viento que llega a la llama es mayor al tener menos coeficiente de fricción (WAF).

- La quema prescrita directa (3) aunque sea el escenario que menos modifique el estrato arbóreo, reduciendo la AB < 10% y la N ≈ 10% debido a la mortalidad inducida por el fuego, su afectación al combustible de superficie es tal que en algunos casos (Pn, Pu, Qh y Qf) llega a presentar comportamientos de fuego postratamiento más bajos que los escenarios 1.3 y 2.2. Excepcionalmente, incluso presentando balances económicos menos

negativos.

- La mayoría de los escenarios de gestión presentan balances económicos negativos. Los motivos recaen principalmente en el tipo de tratamiento y el objetivo de este, que es prevención de incendios y mejora de la resiliencia, principalmente, dejando en un segundo plano el objetivo productivo. El escenario 3 al no haber aprovechamiento de madera el balance solo representa el coste de ejecución. Lo mismo pasa en los regenerados de todos los otros escenarios (1.n y 2.n) al no tener las dimensiones mínimas para su comercialización. Las masas jóvenes, la mayoría del producto que generan es de bajo valor (trituración) y en el escenario 1.n el volumen medio extraído es bajo (≈30m3/ha). Las masas adultas en el escenario 1.n la corta es una clara mixta y por lo tanto el porcentaje de producto de más valor (sierra) y volumen total (≈66m3/ha) es mayor. En los escenarios 2.n la corta es mucho más intensa (>110m3/ha) en todas las CAE, lo que a su vez hace que haya representatividad de todos los tipos de producto. Por este motivo, la mayoría de los balances positivos son en las conversiones silvopastorales. La gestión de restos es una práctica necesaria en prevención de incendios pero que incrementa considerablemente el coste de ejecución (entre 500-1.950€/ha).
- Siempre que las condiciones del terreno y la accesibilidad lo permitan hay que priorizar la mecanización total por su incremento de rendimientos y PRL.

7. Agradecimientos

Este estudio ha recibido financiación del Programa de Investigación e Innovación Horizon 2020 de la Unión Europea (acuerdo de subvención número 101037419—proyecto FIRE-RES).

8. Bibliografía

ALCOVERRO, G.; CANO, F.; BELTRÁN, M.; PICCHI, G.; 2024. Com recuperar un bosc després d'un incendi. Treballs mecanitzats i tractaments manuals. In J. M. Tusell, B. Alcalde, & E. Busquets (Eds.), *41 Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera* (pp. 6–19). https://www.forestal.cat/web/fitxers/files/41-jtsEG2024-CAT-web.pdf

BOMBERS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA.; 2019. Use of fire as a tool for habitat management and fire risk reduction. Life Montserrat.

BUSQUETS, E.; CASTELLNOU, M.; GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.; PIQUÉ, M.; 2019. *Escenaris meteorològics per la simulació d'incendis forestals*. PREVINCAT.

COSTA, P.; CASTELLNOU, M.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; KRAUS, D.; 2011. La prevenció dels Grans Incendis Forestals adaptada a l'Incendi Tipus. In *La prevenció dels Grans Incendis Forestals adaptada a l'Incendi Tipus* (març 2011). Unitat tècnica del GRAF.

DE CACERES, M.; CASALS, P.; GABRIEL, E.; CASTRO, X.; 2019. Scaling-up indidividual-level allometric equations to predict stand-level fuel loading in Mediterranean shrublands. *Annals of Forest Science*, *76*(3), 1–17.

DE CÁCERES, M.; MOLOWNY-HORAS, R.; CABON, A.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.;

MENCUCCINI, M.; GARCÍA-VALDÉS, R.; NADAL-SALA, D.; SABATÉ, S.; MARTIN-STPAUL, N.; MORIN, X.; D'ADAMO, F.; BATLLORI, E.; AMÉZTEGUI, A.; 2023. MEDFATE 2.9.3: a trait-enabled model to simulate Mediterranean forest function and dynamics at regional scales. *Geoscientific Model Development*, *16*(11), 3165–3201. https://doi.org/10.5194/gmd-16-3165-2023

DGDRPF.; 2016. Mapa Forestal de España. Escala 1:25.000. (MFE25). Catalunya. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe_catalunia.aspx

DGDRPF.; 2017. Cuarto Inventario Forestal Nacional (2014-2016): Catalunya (A. y M. A. DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL Y POLÍTICA FORESTAL. MINISTERIO DE AGRICULTURA (ed.)).

ELVIRA, L. M.; HERNANDO, C.; 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. *Monografía INIA*, *68*, 99.

GARCIA, O.; TARRÉS, D.; BAUTISTA, M.; 2023. Prevenció de riscos laborals i procediments de treball en la mecanització dels treballs forestals. In J. Tusell, G. Cases, & E. Busquets (Eds.), *40 Jornades Tècniques Silvícoles Emili Garolera* (pp. 64–75). https://www.forestal.cat/web/fitxers/files/40jtseg2023-català-BAIXA.pdf

HEINSCH, F. A.; ANDREWS, P. L.; 2010. BehavePlus fire modeling system, version 5.0: Design and Features. In F. S. U.S. Department of Agriculture (Ed.), *RMRS-GTR-249*.

KRSNIK, G.; BUSQUETS, E.; PIQUÉ, M.; LARRAÑAGA, A.; CARDIL, A.; GARCÍA-GONZALO, J.; GONZÁLEZ, J. R.; 2020. Regional Level Data Server for Fire Hazard Evaluation and Fuel Treatments Planning. *Remote Sensing*, *12*(4124), 1–17. https://doi.org/10.3390/rs12244124

KRSNIK, G.; BUSQUETS OLIVÉ, E.; PIQUÉ NICOLAU, M.; LARRAÑAGA, A.; TERÉS, J. Á.; GARCIA-GONZALO, J.; GONZÁLEZ OLABARRIA, J. R.; 2024. Spatial multi-criteria analysis for prioritising forest management zones to prevent large forest fires in Catalonia (NE Spain). *Environmental Challenges*, *15*(May), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100959

LASANTA, T.; CORTIJOS-LÓPEZ, M.; ERREA, M. P.; KHORCHANI, M.; NADAL-ROMERO, E.; 2022. An environmental management experience to control wildfires in the mid-mountain mediterranean area: Shrub clearing to generate mosaic landscapes. *Land Use Policy*, *118*(April). https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106147

LASANTA, T.; KHORCHANI, M.; PÉREZ-CABELLO, F.; ERREA, P.; SÁENZ-BLANCO, R.; NADAL-ROMERO, E.; 2018. Clearing shrubland and extensive livestock farming: Active prevention to control wildfires in the Mediterranean mountains. *Journal of Environmental Management*, *227*(September), 256–266. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.104

MITSOPOULOS, I. D.; DIMITRAKOPOULOS, A. P.; 2007. Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.) forests. *Annals of Forest Science*, *64*(3), 287–299. https://doi.org/10.1051/forest:2007006

PIQUÉ, M.; 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*, *618*, 1539–1546. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.316

PIQUÉ, M.; GONZÁLEZ-OLABARRIA, J. R.; BUSQUETS, E.; 2022. Dynamic Evaluation of Early Silvicultural Treatments for Wildfire Prevention. *Forests*, *13*(6), 1–11. https://doi.org/10.3390/f13060858

PIQUÉ, M.; LARRAÑAGA, A.; 2021. Tractaments de prevenció d'incendis amb

cremes prescrites: aplicació i rendiments. *Catalunya Forestal*, *148*.
PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; BELTRÁN, M.; 2017. Resource communication. ORGEST: Regional guidelines and silvicultural models for sustainable forest management. *Forest Systems*, *26*(2). https://doi.org/10.5424/fs/2017262-10627
PIQUÉ, M.; VERICAT, P.; CERVERA, T.; BAIGES, T.; FARRIOL, R.; 2014. Tipologies forestals arbrades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). In *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.
PRICHARD, S. J.; ANDREU, A. G.; OTTMAR, R. D.; EBERHARDT, E.; 2019. Fuel characteristic classification system (FCCS) field sampling and fuelbed development guide. *USDA Forest Service - General Technical Report PNW-GTR*, *2019*(GTR-972), 1–77.
RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; MOSQUERA LOSADA, M. R.; ROMERO FRANCO, R.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, M. P.; VILLARINO URTIAGA, J. J.; 2005. Silvopastoral systems as a forest fire prevention technique. *Silvopastoralism and Sustainable Land Management. Proceedings of an International Congress on Silvopastoralism and Sustainable Management Held in Lugo, Spain, April 2004*, 380–387. https://doi.org/10.1079/9781845930011.0380
ROTHERMEL, R. C.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service.
ROTHERMEL, R. C.; 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service.
RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; RIO, M. del.; 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems*, *21*((1)), 42–52.
RUIZ-PEINADO, R.; RIO, M.; MONTERO, G.; DEL RIO, M.; MONTERO, G.; 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems*, *20*(1), 176–188.
SCOTT, J. H.; BURGAN, R. E.; 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service.
SCOTT, J. H.; REINHARDT, E. D.; 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. In *USDA Forest Service - Research Paper RMRS-RP* (Issues 29 RMRS-RP). USDA Forest Service.
SIKKINK, P. G.; KEANE, R. E.; 2008. A comparison of five sampling techniques to estimate surface fuel loading in montane forests. *International Journal OfWildland Fire*, *17*, 363–379.
SIKKINK, P. G.; LUTES, D. E.; KEANE, R. E.; 2009. Field Guide for identifying fuel loading models. In F. S. U.S. Department of Agriculture (Ed.), *General Technical Report RMRS-GTR-225*. Rocky Mountain Research Station.
TARDÓS, P.; LUCAS-BORJA, M. E.; BELTRÁN, M.; ONKELINX, T.; PIQUÉ, M.; 2019. Composite low thinning and slash burning treatment enhances initial Spanish black pine seedling recruitment. *Forest Ecology and Management*, *433*(July 2018), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.042
VILÀ-VILARDELL, L.; DE CÁCERES, M.; PIQUÉ, M.; CASALS, P.; 2023. Prescribed fire after thinning increased resistance of sub-Mediterranean pine forests to drought events and wildfires. *Forest Ecology and Management*, *527*(October 2022). https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120602
WESSELS, C. B.; MALAN, F. S.; RYPSTRA, T.; 2011. A review of measurement methods used on standing trees for the prediction of some mechanical properties of timber. *European Journal of Forest Research*, *130*(6), 881–893.

https://doi.org/10.1007/s10342-011-0484-6