LIFE AgroForAdapt

Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos

LIFE20 CCA/ES/001682 10/2021 – 09/2026

https://agroforadapt.eu

ENTREGABLE D3: EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A INCENDIOS FORESTALES DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORALES DEMOSTRATIVOS





Marzo 2026

Proyecto LIFE AgroForAdapt: Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos 10/2021 – 09/2026

Acción D3: Evaluación de la vulnerabilidad a incendios forestales de los sistemas silvopastorales demostrativos

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Diputació de Barcelona (DiBa), Diputació de Girona (DiGi), Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya (DACC), Fundació Emys (Emys), Agresta S. Coop. (Agresta), Agroof, SCOP (Agroof).

Cofinanciadores del proyecto: Diputació de Tarragona (DipTa). Agencia del Agua RMC (Fra-Montpellier)

Autores del entregable: Sara Mollà, Jaime Coello, Eduard Busquets, Míriam Piqué.

Colaboradores: Jordi Margalef, Guillem Llena, Mar Gallego, Míriam Medialdea, Júlia Mola.

El proyecto LIFE AgroForAdapt (LIFE20 CCA/ES/001682; 10/2021 – 09/2026) está cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea. No obstante, las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la CINEA. Ni la Unión Europea ni la autoridad concedente pueden ser consideradas responsables de ellos.

https://agroforadapt.eu

Executive summary

This deliverable presents the assessment of wildfire vulnerability in AgroForAdapt silvopastoral demonstration plots across Mediterranean regions in Spain. Structural vulnerability to crown fire was evaluated using the CVFoC methodology, complemented by fire behaviour simulations with BehavePlus based on custom fuel models adapted to Mediterranean conditions.

Results show that both thinning with understory clearing and dehesa-type treatments significantly reduce crown fire vulnerability immediately after intervention, promoting transitions towards low-vulnerability structures. At 2–3 years post-treatment, these improvements are largely maintained, although some regression is observed due to fuel regrowth, particularly in the absence of grazing.

Fire simulations confirm a shift from high-intensity crown fire regimes towards lower-intensity surface fires, with reduced spread rates and fireline intensity. Control plots, in contrast, maintain or increase vulnerability over time.

Overall, silvopastoral treatments prove effective in mitigating wildfire risk, though their long-term efficiency depends on sustained management.

Contenido

1. Introducción 6

1.1. Contexto 6

1.2. Red de rodales demostrativos AgroForAdapt donde se evalúa la vulnerabilidad a incendios 6

2. Caracterización estructural de vulnerabilidad al fuego de copas (CVFoC) 9

2.1. Claves para la identificación de la vulnerabilidad al fuego de copas de las estructuras forestales (CVFoC) 9

2.2. Variables estructurales que definen los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC) 10

3. Resultados de los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC) 11

3.1. Tablas de resultados 11

3.2. Gráficos por especie, tratamiento e inventario 14

3.3. Efectos globales a nivel de tratamiento 15

3.4. Conclusiones 17

4. Simulaciones con BEHAVE 18

4.1. Metodología simulaciones 18

4.2. Descripción y cálculo de las variables necesarias para la simulación 19

4.3. Tablas de variables por rodal 20

5. Resultados de las simulaciones 21

5.1. Rodal 4A - Aiguamúrcia 21

5.2. Rodal 3.2A - Sant Climent de Llobregat 21

5.3. Rodal 4B - Sant Climent de Llobregat 22

5.4. Rodal 4J_3.2G - Sant Mateu de Bages 22

5.5. Rodal 4K_3.2G - Sant Mateu de Bages 23

5.6. Rodal 4D – Girona – Can Vilallonga 23

5.7. Rodal 4C – Girona – Camps i Armet 24

5.8. Rodal 4R - Sant Celoni 24

5.9. Rodal 4M - Sora 25

5.10. Rodal 3.2F - Sora 25

5.11. Conclusiones 27

6. Diseminación de los resultados del seguimiento 27

7. Bibliografía 28

Anexo fotográfico 29

Tablas

Tabla 1. Rodales demostrativos. 6
Tabla 2. Tipos de combustibles. Fuente: (Piqué et al., 2011). Elaboración propia. 9
Tabla 3. Tipos de vulnerabilidad al fuego de copas. Fuente: (Piqué et al., 2011). Elaboración propia. 10
Tabla 4. Tabla resumen de tipos de estructuras de vulnerabilidad por tratamiento e inventario de cada rodal. Elaboración propia. 12
Tabla 5. Porcentaje de parcelas con transiciones de mejora, que se mantienen igual o que empeoran frente a los diferentes tratamientos selvícolas. 17
Tabla 6. Tabla modelo de las variables modificadas en los *custom fuel model*, utilizadas en las simulaciones por parcela. 20
Tabla 7. Resultados de la simulación del rodal 4A. 21
Tabla 8. Resultados de la simulación del rodal 3.2A. 21
Tabla 9. Resultados de la simulación del rodal 4B. 22
Tabla 10. Resultados de la simulación del rodal 4J_3.2G. 22
Tabla 11. Resultados de la simulación del rodal 4K_3.2G. 23
Tabla 12. Resultados de la simulación del rodal 4D. 23
Tabla 13. Resultados de la simulación del rodal 4C. 24
Tabla 14. Resultados de la simulación del rodal 4R. 24
Tabla 15. Resultados de la simulación del rodal 4M. 25
Tabla 16. Resultados de la simulación del rodal 3.2F. 25
Tabla 17. Tabla resumen de porcentajes de parcelas pretratamiento y postratamiento después de 2-3 años según tratamiento y tipo de fuego de copas. 27

Figuras

Figura 1. Tipos de estructura de vulnerabilidad al fuego de copas por especie y tratamiento del género *Pinus* (los números indican el número de parcelas). 14
Figura 2. Matrices de transición de las parcelas control. 15
Figura 3. Matrices de transición de las parcelas con tratamiento de clara y desbroce 16
Figura 4. Matrices de transición de las parcelas control. 16
Figura 5. Velocidad de propagación (ROS, m/min) y calor liberado (Heat per unit area, kJ/m²) en los escenarios pre y postratamiento después de 2 a 3 años. Las parcelas control se representan con círculos, las tratadas mediante clara con triángulos y las de adehesamiento con una doble cruz. Los fuegos de superficie (Surface) se representan en color verde, los de fuego de copas pasivo (torching) en amarillo y los de fuego de copas activo (crowning) en rojo. 26

1. Introducción

1.1. Contexto

La acción D3 tiene como objetivo hacer un seguimiento de los rodales silvopastorales demostrativos para caracterizar su vulnerabilidad a incendios forestales, comparando los resultados de:

- las zonas donde se realiza silvopastoralismo extensivo, consistente en un desbroce selectivo y una clara suave, seguidos por la entrada del ganado.
- las zonas donde se realiza un adehesamiento, consistente en un desbroce y una clara de alta intensidad, seguidos por la entrada del ganado.
- las zonas control, en las que no se realiza ningún tratamiento.

Las metodologías empleadas para evaluar la vulnerabilidad a incendios forestales son dos:

i) Vulnerabilidad estructural al fuego de copas (TVFoC).
ii) Uso del simulador BehavePlus 6.0 para las simulaciones de comportamiento del fuego.

Este entregable presenta los resultados de cada una de estas metodologías.

1.2. Red de rodales demostrativos AgroForAdapt donde se evalúa la vulnerabilidad a incendios

La siguiente tabla recoge la localización y características principales de los rodales analizados, incluyendo información del rodal y de cada una de las tres parcelas que incluyen cada rodal (una para cada tipo de tratamiento). Se incluye información de ubicación, pendiente, tipo de tratamiento, momento del inventario y si en el rodal se realiza un seguimiento avanzado o básico.

Tabla 1. Rodales demostrativos.

Municipio	Rodal	Parcela	Coord X	Coord Y	Pendiente (%)	Especie principal	Tratamiento	Inventario	Seguimiento
Aiguamurcia	**4A**	PC_4A	363916	4578587	22,70	Ph	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P1_4A	363910	4578495	12,45	Ph	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_4A	363928	4578549	9,41	Ph	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Sant Climent de Llobregat	**3.2A**	PC_3.2A	413396	4575740	21,72	Ph	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P2_3.2A	413339	4575819	37,48	Ph	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P1_3.2A	413416	4575793	39,86	Ph	Adehesamiento	PRE	
								POST	

Municipio	Rodal	Parcela	Coord X	Coord Y	Pendiente (%)	Especie principal	Tratamiento	Inventario	Seguimiento
								POST2_3AÑOS	
	4B	PC_4B	412874	4575159	37,71	Qii	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P2_4B	412897	4575185	42,34	Qii	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P1_4B	412931	4575137	48,36	Qii	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Sant Mateu de Bages	4J_3.2G	PC_4J_3.2G	385434	4625666	15,70	Ph	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P1_4J	385427	4625718	31,86	Ph	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_3.2G	385428	4625594	17,49	Ph	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
	4K_3.2G	PC_4K_3.2G	384578	4626321	18,91	Qh	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P1_4K	384627	4626457	34,60	Qh	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P1_3.2G	384674	4626393	41,94	Qh	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Girona	4D	PC_4D (P2)	492731	4637465	14,76	Pn	Control	PRE	Básico
								POST2_3AÑOS	
		P1_4D	492939	4637426	14,98	Pn	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P3_4D	492790	4637576	13,41	Qii	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
	4C	PC_4C (P2)	499925	4648243	19,02	Qs	Control	PRE	Básico
								POST2_3AÑOS	
		P1_4C	500000	4648243	15,60	Qs	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P3_4C	499915	4648206	13,09	Qs	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Sant Celoni	4R	PC_4R	459621	4613119	23,95	Qii	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	

Municipio	Rodal	Parcela	Coord X	Coord Y	Pendiente (%)	Especie principal	Tratamiento	Inventario	Seguimiento
		P1_4R	459759	4612985	25,47	Qii	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_4R	459766	4613082	28,77	Qii	Desbroce	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Sora	4M	PC_4M	432358	4664278	62,63	Ps	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P1_4M	432275	4664165	59,19	Ps	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_4M	432366	4664155	61,40	Ps	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
	3.2F	PC_3.2F	432352	4663788	66,42	Qh	Control	PRE	Avanzado
								POST2_3AÑOS	
		P1_3.2F	432320	4663689	29,29	Qh	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_3.2F	432326	4663631	50,63	Qh	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
La Póveda	3.2D	PC_3.2D	541764	4654303	12,60	Ps	Control	PRE	Avanzado
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_3.2D	541670	4654361	15,07	Ps	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P1_3.2D	541624	4654283	12,60	Ps	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Muriel Viejo	4U	PC_4U	507051	4625073	4,52	Ps	Control	PRE	Avanzado
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P1_4U	507074	4624981	6,38	Ps	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_4U	507056	4625021	4,04	Ps	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
Soria	4E	PC_4E	504133	4631555	13,90	Ps	Control	PRE	Avanzado
								POST	
								POST2_3AÑOS	

Municipio	Rodal	Parcela	Coord X	Coord Y	Pendiente (%)	Especie principal	Tratamiento	Inventario	Seguimiento
		P1_4E	504195	4631453	4,04	Ps	Clara	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	
		P2_4E	504150	4631527	8,29	Ps	Adehesamiento	PRE	
								POST	
								POST2_3AÑOS	

2. Caracterización estructural de vulnerabilidad al fuego de copas (CVFoC)

2.1. Claves para la identificación de la vulnerabilidad al fuego de copas de las estructuras forestales (CVFoC)

Se utilizan las CVFoC como herramienta principal para la caracterización de las estructuras forestales y su vulnerabilidad al fuego de copas (Piqué et al., 2011).

Tabla 2. Tipos de combustibles. Fuente: (Piqué et al., 2011). Elaboración propia.

La caracterización de las estructuras forestales se realiza mediante las variables silvícolas estructurales de tres tipos de combustibles:

- **Combustible aéreo:** formado por las copas de los árboles del estrato dominante o codominante de mayor altura.
- **Combustible de escala:** combustible superior a 1,30 m que no forma parte del estrato dominante o codominante. Incluye árboles pequeños, arbustos, lianas o árboles caídos.
- **Combustible de superficie:** combustible con una altura no superior a 1,30 m. Puede incluir matorral, vegetación herbácea, ramas, troncos caídos o restos selvícolas.

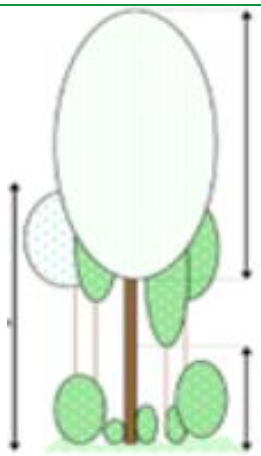
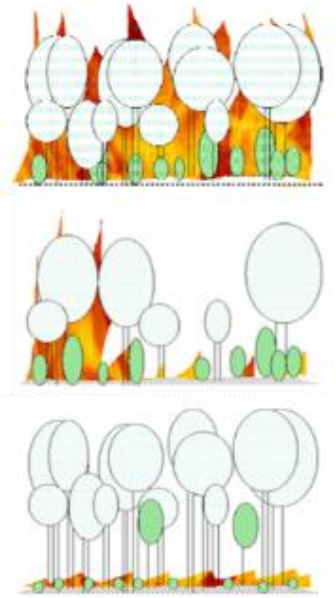


Tabla 3. Tipos de vulnerabilidad al fuego de copas. Fuente: (Piqué et al., 2011). Elaboración propia.

Los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC) están definidos para diferentes conjuntos de especies y se presentan agrupados según su vulnerabilidad para generar incendios de copas. Esta clasificación se organiza en tres categorías:

- **Vulnerabilidad alta (A):** estructuras forestales con características silvícolas que favorecen que el fuego alcance las copas y se mantenga en ellas.
- **Vulnerabilidad moderada (B):** estructuras forestales con características silvícolas que limitan más que las estructuras A la subida del fuego a las copas y, particularmente, limitan la sostenibilidad de este fuego en copas.
- **Vulnerabilidad baja (C):** estructuras forestales con características silvícolas que limitan tanto el paso del fuego como su sostenibilidad en las copas. El fuego se propaga por debajo del combustible aéreo.



2.2. Variables estructurales que definen los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC)

Los parámetros necesarios para identificar la vulnerabilidad estructural para desarrollar y mantener incendios de copas son los siguientes:

- **Tipología Forestal:** nos indica que clave seguir
- **Recubrimiento del combustible de escala (RCE):** superficie de proyección del combustible de escala, sin tener en cuenta posibles recubrimientos múltiples. Valor máximo: 100%.
- **Distancia entre los combustibles de escala o superficie y los aéreos (Dse-a):** distancia desde la parte superior del combustible inferior (el de escala si el RCE es superior al 25%, o el de superficie en caso contrario) hasta donde exista suficiente follaje vivo en el combustible superior (aéreo) para que el fuego pueda propagarse verticalmente. Se estima la distancia media entre estos combustibles teniendo en cuenta el área de muestreo.
- **Distancia entre los combustibles de superficie y de escala (Ds-e):** distancia desde la parte superior del combustible de superficie hasta la parte inferior del combustible de escala.
- **Fracción de cabida cubierta (Fcc):** superficie de proyección del combustible aéreo, sin tener en cuenta posibles recubrimientos múltiples. Este valor nunca supera el 100%.
- **Recubrimiento del combustible de superficie (RCS):** superficie de proyección del combustible de superficie, sin tener en cuenta posibles recubrimientos múltiples. Este valor nunca supera el 100%.
- **Altura del combustible de superficie (HCS):** altura media del combustible de superficie. Este valor nunca supera la altura de **1,30 m**.

3. Resultados de los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC)

3.1. Tablas de resultados

La siguiente tabla 4 muestra la evolución de la vulnerabilidad en diferentes regiones (Cataluña y Castilla y León) comparando tres momentos temporales: pretratamiento, postratamiento y postratamiento a los 2-3 años.

En la mayoría de las parcelas intervenidas, se ha logrado una transición exitosa desde niveles de vulnerabilidad alta (A) o moderada (B) hacia niveles de vulnerabilidad baja (C) inmediatamente después del tratamiento.

El seguimiento realizado a los 2-3 años postratamiento confirma que, en una proporción significativa de los rodales, la estructura de baja vulnerabilidad (C) se mantiene estable, limitando la propagación del fuego al estrato inferior y evitando el paso y la sostenibilidad del fuego en las copas.

El análisis de las parcelas de control (aquellas donde no se ha intervenido) demuestra que la falta de gestión forestal mantiene o agrava la vulnerabilidad frente a incendios de copas.

Un ejemplo claro se observa en las masas de *Pinus sylvestris* en Castilla y León, donde las parcelas sin gestión han involucionado, pasando de una vulnerabilidad moderada (B) a una vulnerabilidad alta (A) durante el periodo de seguimiento.

Tabla 4. Tabla resumen de tipos de estructuras de vulnerabilidad por tratamiento e inventario de cada rodal. Elaboración propia.

Región	Municipio	Rodal	Bioclima	Especie	Tratamiento	Vulnerabilidad pre	Vulnerabilidad post	Vulnerabilidad post 2-3 años
Cataluña	Aiguamúrcia	4A	Mediterráneo seco	*Pinus halepensis*	Control	B11		B10
					Clara y desbroce	B16	C17	C13
					Adehesamiento	B15	C13	C13
Cataluña	Sant Climent de Llobregat	3.2A	Mediterráneo seco	*Pinus halepensis*	Control	A1		B10
					Clara y desbroce	A4	C13	C16
					Adehesamiento	A1	C13	B16
Cataluña	Sant Climent de Llobregat	4B	Mediterráneo seco	*Quercus ilex*	Control	A1		B15
					Clara y desbroce	A1	B15	C10
					Adehesamiento	A1	C13	B16
Cataluña	Sant Mateu de Bages	4J/3.2G	Mediterráneo seco	*Pinus halepensis*	Control	C16		C13
					Clara y desbroce	B10	C13	C16
					Adehesamiento	B16	B15	C16
Cataluña	Sant Mateu de Bages	4K/3.2G	Mediterráneo seco	*Quercus humilis*	Control	B11		B11
					Clara y desbroce	B11	B11	B11
					Adehesamiento	B11	B16	C13
Cataluña	Girona	4D	Mediterráneo húmedo	*Pinus nigra*	Control	A3		A4
					Clara y desbroce	B13	C10	C9
				Quercus suber	Adehesamiento	-	C16	C16
Cataluña	Girona	4C	Mediterráneo húmedo	*Quercus suber*	Control	A1		A1
					Clara y desbroce	A3	C13	C15
					Adehesamiento	A4	C17	B16
Cataluña	Sant Celoni	4R	Mediterráneo húmedo	*Quercus humilis/ilex*	Control	B11		B4
					Clara y desbroce	A2	B15	B16
					Desbroce	A4	B15	B15

Región	Municipio	Rodal	Bioclima	Especie	Tratamiento	Vulnerabilidad pre	Vulnerabilidad post	Vulnerabilidad post 2-3 años
Cataluña	Sora	4M	Mediterráneo húmedo	*Pinus sylvestris*	Control	A2		A2
					Clara y desbroce	B2	C12	B13
					Adehesamiento	A2	C12	B8
Cataluña	Sora	3.2F	Mediterráneo húmedo	*Quercus humilis*	Control	C17		A2
					Clara y desbroce	C12	C13	C13
					Adehesamiento	C12	C13	C17
Castilla y León	La Póveda	3.2D	Supramediterráneo	*Pinus sylvestris*	Control	B6	B6	A3
					Clara y desbroce	B6	B13	B13
					Adehesamiento	B6	B13	C9
Castilla y León	Muriel Viejo	4U	Supramediterráneo	*Pinus sylvestris*	Control	A4	A1	A3
					Clara y desbroce	B12	A5	B6
					Adehesamiento	B12	B13	B7
Castilla y León	Soria	4E	Supramediterráneo	*Pinus sylvestris*	Control	A1	A1	A1
					Clara y desbroce	A1	A5	B6
					Adehesamiento	A2	B13	B1

3.2. Gráficos por especie, tratamiento e inventario

La respuesta de la estructura forestal a los tratamientos silvícolas (clara, desbroce y adehesamiento) muestra variaciones en función del género (*Pinus* vs. *Quercus*).

El siguiente gráfico (figura 1) muestra la distribución de los tipos de estructuras de vulnerabilidad al fuego de copas (A, B y C) en el género *Pinus*, comparando escenarios pretratamiento y a los 2–3 años para los distintos tratamientos (control, clara con desbroce y adehesamiento) y especies (*Pinus halepensis y Pinus sylvestris*).

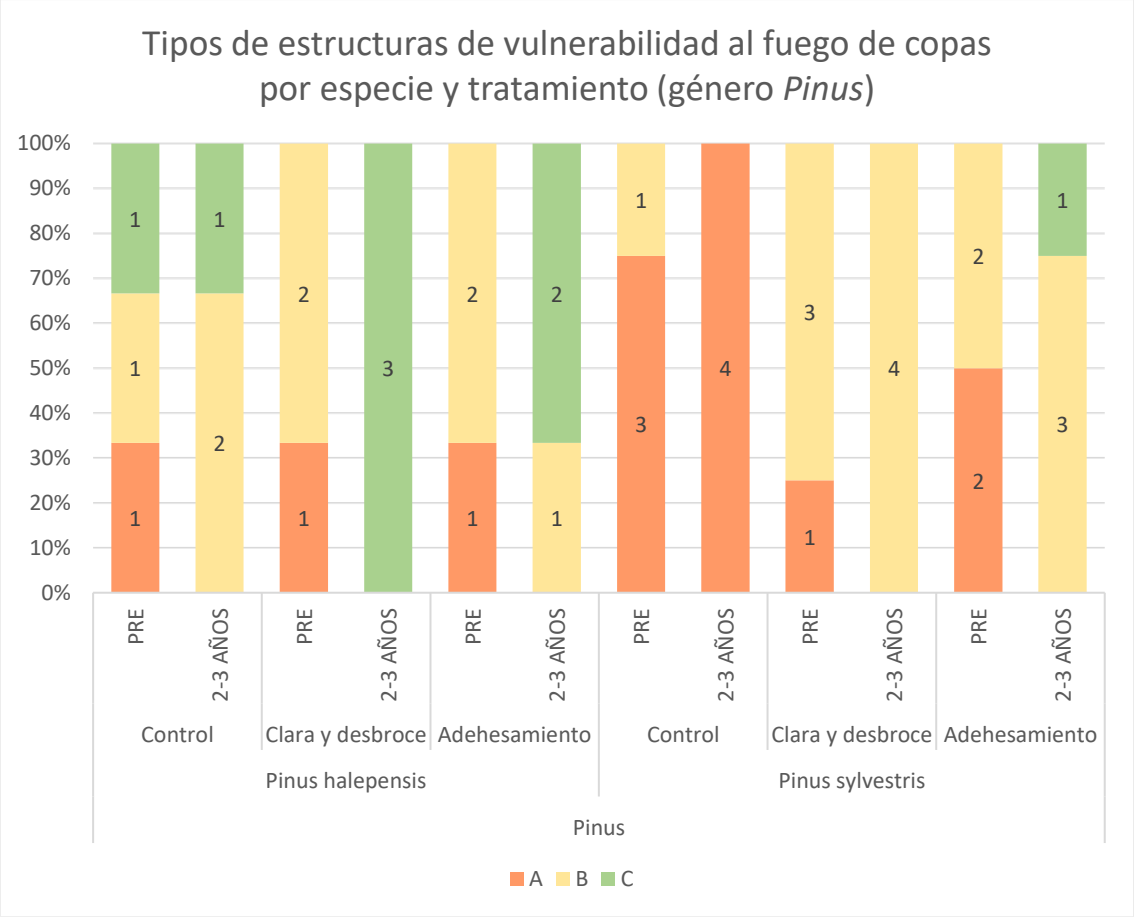


Figura 1. Tipos de estructura de vulnerabilidad al fuego de copas por especie y tratamiento del género *Pinus* (los números indican el número de parcelas).

En general, los tratamientos en pino, se observa que siguen una tendencia relativamente consistente dentro de cada especie, aunque con matices. En *Pinus halepensis*, los tratamientos (especialmente la clara y el adehesamiento) tienden a desplazar la estructura hacia tipologías menos vulnerables (mayor presencia de C) a los 2–3 años, indicando una mejora en la resistencia al fuego de copas. En el caso de *Pinus sylvestris*, el patrón es algo diferente, con una mayor presencia de estructuras intermedias (tipo B) tras los tratamientos y una reducción menos marcada de las tipologías más vulnerables, lo que sugiere una respuesta más moderada o distinta según la especie.

Para el género *Quercus*, no se presenta la figura debido a que el número de parcelas es limitado para realizar una representación gráfica, Aunque no se identifica una dinámica clara o patrón común, en general, los tratamientos combinados (clara + desbroce) tienden a desplazar las estructuras hacia B–C, mientras que el control mantiene o empeora (A o B). El adehesamiento muestra mejoras iniciales

hacia B o C, pero con tendencia a revertir parcialmente, y el desbroce aislado tiene efectos limitados, generalmente manteniendo estructuras intermedias.

3.3. Efectos globales a nivel de tratamiento

Se han elaborado las siguientes matrices de transición (Heatmaps) para cuantificar los cambios de estado estructural (A, B, C) entre las fases Pre-tratamiento, Post-tratamiento y seguimiento a largo plazo (2-3 años). Estos gráficos permiten evaluar la mejora que provocan los tratamientos frente a la vulnerabilidad al fuego de copas. Esto permite ver no solo el impacto inmediato de la gestión forestal, sino también su persistencia en el tiempo.

Control

En cuanto al tratamiento de control, las matrices de transición reflejan una ausencia casi total de mejora estructural, actuando como el testimonio de la vulnerabilidad inherente a las masas no gestionadas. Al comparar el estado inicial con el seguimiento a los 2-3 años, se observa que la práctica totalidad de las parcelas permanecen inmóviles en la franja de vulnerabilidad alta (A), sin que se produzca ningún desplazamiento hacia categorías de menor o mayor vulnerabilidad. Esto demuestra que, en ausencia de intervención, la dinámica natural del bosque tiende a cronificar estructuras donde el fuego de copas es más probable.

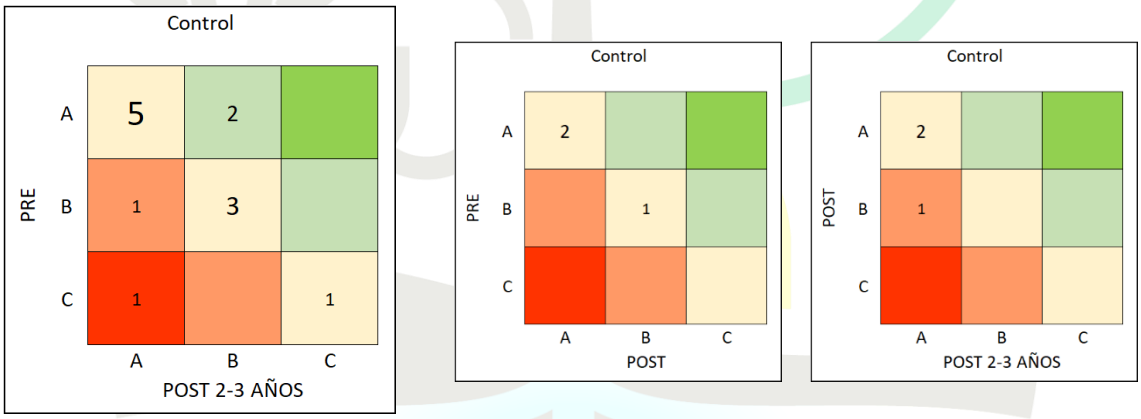


Figura 2. Matrices de transición de las parcelas control.

Clara y desbroce

El tratamiento de clara y desbroce muestra una mejora clara de la vulnerabilidad estructural inmediatamente después de la intervención. En la transición PRE–POST se observa un desplazamiento importante de parcelas desde estados de mayor vulnerabilidad hacia clases más favorables, especialmente hacia la categoría C (vulnerabilidad baja). Este patrón indica que la reducción simultánea de densidad arbórea y del sotobosque disminuye la continuidad vertical y horizontal del combustible, dificultando la propagación del fuego hacia las copas.

En la fase de persistencia POST–POST 2-3 años, la tendencia general de mejora se mantiene en buena parte de las parcelas, con varios casos que permanecen en C-C, lo que refleja estabilidad en las condiciones de baja vulnerabilidad. Sin embargo, también se observan algunas transiciones hacia B, lo que sugiere cierta recuperación del combustible superficial o del estrato arbustivo con el paso del tiempo. Aun así, el tratamiento parece mantener en general una estructura menos propensa al desarrollo de fuego de copas durante los primeros años tras la actuación.

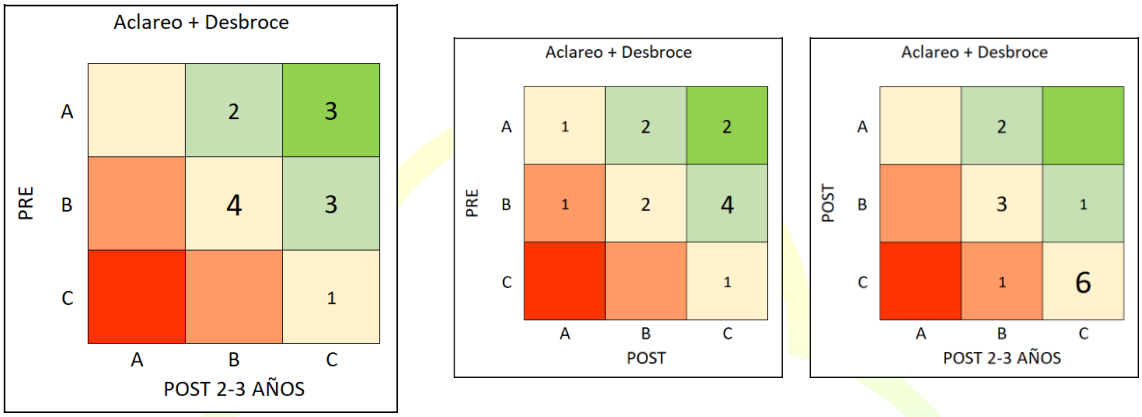


Figura 3. Matrices de transición de las parcelas con tratamiento de clara y desbroce

Adehesamiento

El tratamiento de adehesamiento presenta un comportamiento algo más heterogéneo. En la transición PRE–POST se detecta una mejora inicial similar a la del clara y desbroce, con un desplazamiento de parcelas desde categorías de mayor vulnerabilidad hacia B y C. Esto indica que la apertura del dosel y la reducción de la densidad arbórea también contribuyen inicialmente a disminuir la probabilidad de propagación del fuego hacia las copas.

No obstante, en la fase POST–POST 2-3 años se observa un comportamiento más complejo. Aunque algunas parcelas se mantienen en categorías favorables, aparece un número menor de transiciones C-C en comparación con el tratamiento anterior y se detectan algunos desplazamientos hacia B, lo que refleja una menor permanencia en estados de vulnerabilidad mínima. Este patrón puede explicarse por la mayor entrada de luz al sotobosque tras el adehesamiento, que favorece la regeneración y el crecimiento de vegetación arbustiva si no se realiza una gestión complementaria (por ejemplo, pastoreo o desbroces periódicos).

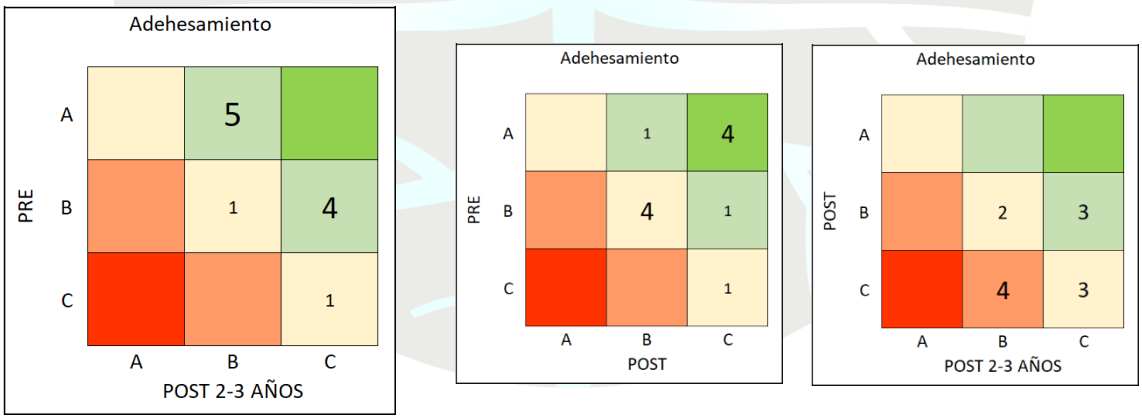


Figura 4. Matrices de transición de las parcelas control.

3.4. Conclusiones

La tabla 5 muestra a modo de resumen el porcentaje de parcelas que mejoran, se mantienen o empeoran en términos de vulnerabilidad al fuego de copas bajo tres intervalos temporales: pretratamiento–postratamiento a los 2–3 años, pretratamiento–postratamiento inmediato y postratamiento–postratamiento a los 2–3 años.

Tabla 5. Porcentaje de parcelas con transiciones de mejora, que se mantienen igual o que empeoran frente a los diferentes tratamientos selvícolas.

		PRE / POST 2-3 (%)	PRE / POST (%)	POST / POST 2-3 (%)
Control	Mejora	15	-	-
	Igual	69	-	-
	Empeora	15	-	-
Clara + Desbroce	Mejora	62	54	23
	Igual	38	31	69
	Empeora	0	8	8
Adehesamiento	Mejora	82	55	25
	Igual	18	45	42
	Empeora	0	0	33

En el caso de las parcelas control, teniendo datos de pretratamiento a postratamiento a los 2-3 años, la mayor parte se mantienen sin cambios (69%), mientras que los porcentajes de mejora y empeoramiento son iguales (15%), lo que indica una escasa variabilidad temporal en ausencia de tratamiento.

En cuanto a las parcelas con tratamiento, se observan dinámicas diferenciadas según la tipología de actuación y la escala temporal analizada.

Para la clara con desbroce, el balance a medio plazo (pre–post 2–3 años) es claramente positivo, con un 62% de las parcelas que mejoran y ninguna que empeore, aunque un 38% se mantiene sin cambios. En el corto plazo (pre–post), la mejora también es notable (54%), pero aparece un pequeño porcentaje de empeoramiento (8%), lo que sugiere cierta heterogeneidad en la respuesta inmediata. Sin embargo, en el periodo post–post 2–3 años, la mejora desciende hasta el 23% y predomina el mantenimiento (69%), evidenciando una estabilización de las condiciones estructurales con ligeras pérdidas de efectividad.

En el caso del adehesamiento, se registra la mayor mejora a medio plazo, con un 82% de las parcelas mejorando en el intervalo pre–post 2–3 años y sin casos de empeoramiento, lo que confirma su elevada eficacia. A corto plazo (pre–post), la mejora es más moderada (55%) y aumenta el porcentaje de parcelas que se mantienen (45%). No obstante, en el periodo post–post 2–3 años se produce una reducción significativa de la mejora (25%), acompañada de un incremento relevante del empeoramiento (33%), lo que indica una pérdida de efectividad más acusada con el tiempo.

En conjunto, los resultados indican que ambos tratamientos generan mejoras claras en el comportamiento del fuego, especialmente a medio plazo tras su aplicación, siendo el adehesamiento el más efectivo en esta temporalidad. Sin embargo, en ambos casos se observa una tendencia a la reducción de la eficacia con el tiempo, lo que refuerza la necesidad de tratamientos de mantenimiento para sostener los efectos en la reducción del riesgo de incendio. Este descenso en la

efectividad, incluso habiéndose producido la entrada de ganado en todas las parcelas, se manifiesta en un ligero empeoramiento en los dos tratamientos en el periodo post–post 2–3 años. Este patrón podría explicarse por el carácter rebrotador de las especies arbustivas dominantes como *Quercus coccifera, Quercus ilex, Pistacia lentiscus, Erica arborea, Erica australis* o *Rubus sp.*, que favorece la rápida recuperación del combustible fino y del sotobosque, sugiriendo que sería necesaria una mayor intensidad o presión de pastoreo para mantener las mejoras alcanzadas.

4. Simulaciones con BEHAVE

4.1. Metodología simulaciones

Para evaluar el comportamiento potencial del fuego en este estudio, se ha empleado el software de libre acceso BehavePlus 6.0 (Heinsch & Andrews, 2010), un estándar internacional. Con el fin de lograr una mayor precisión técnica, se han ajustado algunos de los parámetros de los modelos de combustible originales, diseñados en EE. UU., para que reflejen la realidad de los ecosistemas mediterráneos que se analizan.

En cuanto al diseño de las simulaciones, estas se han estructurado sobre un sistema de tres parcelas por rodal, lo que garantiza la trazabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos. Esta configuración permite simular el comportamiento del fuego en un testigo o parcela control y en dos tipologías de intervención: clara con desbroce y adehesamiento, evaluando en ambos casos los estados de pre y post-tratamiento pasados entre 2 y 3 años.

Gracias a este planteamiento, el modelo permite observar con precisión las variaciones en la intensidad y propagación del fuego derivadas de cada tratamiento específico dentro de un mismo rodal, además de analizar cómo responde un mismo manejo forestal al ser comparado entre distintos rodales del territorio con características estructurales diversas.

No se han realizado las simulaciones correspondientes a las parcelas gestionadas por Agresta debido a diferencias en la metodología de toma de datos respecto al resto de rodales del proyecto. Estas discrepancias, especialmente en las variables necesarias para la parametrización de los modelos de combustible, han impedido garantizar la comparabilidad de los resultados.

4.2. Descripción y cálculo de las variables necesarias para la simulación

A continuación, se describen las variables necesarias para la simulación a nivel de parcela utilizando el software de simulación de incendios forestales, BEHAVE Plus 6:

1. Cargas de combustible muerto:
   a. **W1h (t/ha):** Carga de combustible muerto fino (diámetro < 6 mm).
   b. **W10h (t/ha):** Carga de combustible muerto de 10 horas (diámetro 6 – 25 mm).
   c. **W100h (t/ha):** Carga de combustible muerto de 100 horas (diámetro 25 – 75 mm).
2. Cargas de combustible vivo:
   a. **WLh (t/ha):** Carga de combustible herbáceo muerto.
   b. **WLw (t/ha):** Carga de combustible vivo leñoso (arbustivo). Se calcula utilizando el paquete de software Medfuels y ecuaciones alométricas que consideran la cobertura y la altura media de las especies arbustivas mediterráneas presentes en las parcelas.
3. Parámetros físicos del combustible:
   a. **1h SAV / Lh SAV / Lw SAV (m^2/m^3):** Son los ratios de superficie/volumen para el combustible muerto fino, herbáceo vivo y leñoso vivo, respectivamente. Se obtienen de los modelos estándar de Scott & Burgan.
   b. **Fuel Bed (m):** Profundidad del lecho de combustible. Se estima como la media de las alturas del estrato arbustivo de cada parcela ponderado con el recubrimiento arbustivo, en porcentaje, de cada parcela.
   c. **Dead Fuel Moisture of Extinction (%):** Humedad de extinción del combustible muerto. Es el contenido de humedad por encima del cual el fuego de superficie no se propaga. En este estudio se utilizan los valores predeterminados por Scott & Burgan para cada modelo de combustible, ajustados a un máximo de 25% para reflejar las condiciones mediterráneas.
4. Contenido calórico: **Dead / Live Fuel Heat Content (kJ/kg):** energía liberada por unidad de masa. Los valores para especies específicas se obtienen de los modelos estándar de Scott & Burgan.
5. Variables de copas:
   a. **Canopy Cover (%):** Cobertura de copas o fracción de cabida cubierta. Obtenida de los inventarios y concretamente de la parte de variables que definen la tipología de estructura de vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC).
   b. **Standard Height (m):** Altura media de los árboles de la parcela.
   c. **Canopy Base Height (CBH) (m):** Altura de la base de la copa. Se calcula restando la profundidad de la copa (obtenida por alometrías) a la altura media del árbol.
   d. **Canopy Bulk Density (CBD) (kg/m^3):** Densidad aparente de la copa. Se estima a partir de la carga de combustible disponible en la copa (ACFL) y la profundidad de esta.
6. Humedades del Combustible:
   a. **1h / 10h / 100h / Lh FM (%):** Humedades de los combustibles muertos y herbáceos vivos. Se utilizan los valores estándar de Scott & Burgan definidos para una humedad baja.
   b. **Lw Moisture / Foliar Moisture (%):** Humedad del combustible vivo leñoso (estrato arbustivo) y foliar (estrato arbóreo). Se utilizan valores del MEDFATE, concretamente el contenido mínimo de humedad de las especies con mayor presencia del estrato arbustivo y arbóreo.
   c. Escenario meteorológico: **velocidad del viento (km/h) y temperatura del aire (ºC) -** se asigna el escenario PREVINCAT con mayor probabilidad y condiciones más desfavorables, definido para cada zona homogénea de régimen de incendios de Catalunya (Busquets et al., 2019).
7. Pendiente: pendiente media de la parcela (%).

4.3. Tablas de variables por rodal

La tabla 6 muestra un ejemplo de las variables de los *custom fuel model* utilizadas en las simulaciones.

Tabla 6. Tabla modelo de las variables modificadas en los *custom fuel model*, utilizadas en las simulaciones por parcela.

AM Bioclima: Mediterráneo seco		PC_4A	*Pinus halepensis*	P1_4A	*Pinus halepensis*	P2_4A	*Pinus halepensis*
		CONTROL		**CLARA Y DESBROCE**		**ADEHESAMIENTO**	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
	Recubrimiento arbustivo (%)	82	74	66	41	85	47
	Modelo Combustible Scott & Burgan	**SH5 (145)**	**SH7 (147)**	**SH5 (145)**	**SH2 (142)**	**SH7 (147)**	**SH2 (142)**
Carga de combustible muerto de 1h	t/ha	8,07	7,85	8,07	3,03	7,85	3,03
Carga de combustible muerto de 10h	t/ha	4,71	11,88	4,71	5,38	11,88	5,38
Carga de combustible muerto de 100h	t/ha	0	4,93	0	1,68	4,93	1,68
Carga de combustible vivo herbáceo	t/ha	0	0	0	0	0	0
Carga de combustible vivo fino leñoso	t/ha	10,36	7,32	8,50	3,21	7,14	3,69
Profundidad de lecho de combustible	m	0,66	0,44	0,35	0,13	0,43	0,16
Fracción de cabida cubierta	%	30-40	50-60	40-50	40-50	50-60	<30
Altura media	m	9,6	10	10,3	11,4	10,3	11,4
Altura de base de la copa	m	5,5584	5,79	5,9637	6,6006	5,9637	6,6006
Densidad de la copa	kg/m3	0,13	0,14	0,21	0,17	0,21	0,17

5. Resultados de las simulaciones

En las siguientes tablas se presentan los resultados de las simulaciones de comportamiento del fuego para los distintos escenarios analizados, considerando la especie dominante y las condiciones meteorológicas definidas. Se incluyen las principales variables descriptivas del incendio: tipo de fuego de copas (crown fire type), velocidad de propagación (ROS), calor liberado por unidad de superficie, intensidad lineal del frente de fuego, longitud de llama y altura de llama. Estas variables permiten evaluar de forma integrada la intensidad, propagación y efectos potenciales del fuego.

5.1. Rodal 4A - Aiguamúrcia

- Especie arbórea principal: *Pinus halepensis*
- *Escenario meteorológico: viento de 29 km/h y temperatura de 18 °C.*

Tabla 7. Resultados de la simulación del rodal 4A.

		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
Resultados		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Pasivo	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	12	2	1,9	0,9	1,4	2,2
Calor liberado	kJ/m2	34.615	29.409	27.448	7.763	28.005	9.025
Intensidad de línea de fuego	kW/m	6.902	1.003	858	117	637	328
Longitud de llama	m	9,7	1,9	1,7	0,7	1,5	1,1
Altura de quema	m	28,1	10,7	9,5	4,7	4,4	8,1

5.2. Rodal 3.2A - Sant Climent de Llobregat

- Especie arbórea principal: *Pinus halepensis*
- *Escenario meteorológico: viento de 29 km/h y temperatura de 15 °C.*

Tabla 8. Resultados de la simulación del rodal 3.2A.

		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
Resultados		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Pasivo	Superficie	Activo	Superficie	Pasivo	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	6,9	2	21,1	3,4	11,2	3,2
Calor liberado	kJ/m2	40.208	29.460	46.771	10.645	47.373	11.853
Intensidad de línea de fuego	kW/m	4.651	966	16.469	599	8.864	624
Longitud de llama	m	7,4	1,8	17,2	1,5	11,4	1,5
Altura de quema	m	16,2	9,8	17,9	5,2	21,5	5,3

5.3. Rodal 4B - Sant Climent de Llobregat

- Especie arbórea principal: *Quercus ilex*
- *Escenario meteorológico: viento de 29 km/h y temperatura de 15 °C.*

Tabla 9. Resultados de la simulación del rodal 4B.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Superficie	Superficie	Activo	Pasivo	Pasivo	Pasivo
Velocidad de propagación	m/min	1,3	0,8	17,9	12,3	13,4	10,8
Calor liberado	kJ/m2	7.964	17.692	37.753	31.399	35.859	30.245
Intensidad de línea de fuego	kW/m	172	237	11.274	6.420	8.005	5.443
Longitud de llama	m	0,8	1	13,4	9,2	10,7	8,2
Altura de quema	m	3	3,7	16	9,6	20,6	10,3

5.4. Rodal 4J_3.2G - Sant Mateu de Bages

- Especie arbórea principal: *Pinus halepensis*
- *Escenario meteorológico: viento de 26 km/h y temperatura de 34 °C.*

Tabla 10. Resultados de la simulación del rodal 4J_3.2G.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Pasivo	Superficie	Superficie	Superficie	Pasivo	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	2,9	0	1,6	0,3	3,1	1,7
Calor liberado	kJ/m2	25.405	314	23.306	2.408	27.378	9.374
Intensidad de línea de fuego	kW/m	1.237	0	635	11	1.429	269
Longitud de llama	m	3,1	0	1,5	0,2	3,4	1
Altura de quema	m	19	0	12,8	0,3	19,7	4,9

5.5. Rodal 4K_3.2G - Sant Mateu de Bages

- Especie arbórea principal: *Pinus halepensis*
  Escenario meteorológico: viento de 26 km/h y temperatura de 34 °C.

Tabla 11. Resultados de la simulación del rodal 4K_3.2G.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Pasivo	Pasivo	Superficie	Superficie	Pasivo	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	5,3	4,7	1,2	2	8,3	1,8
Calor liberado	kJ/m2	27.076	26.597	2.517	6.992	29.751	6.436
Intensidad de línea de fuego	kW/m	2.410	2.100	50	238	4.120	192
Longitud de llama	m	4,8	4,4	0,5	1	6,8	0,9
Altura de quema	m	25,7	22,5	1,6	6	34,5	4,7

5.6. Rodal 4D – Girona – Can Vilallonga

- Especie arbórea principal: *Pinus nigra*
- *Escenario meteorológico: viento de 28 km/h y temperatura de 33 °C.*

Tabla 12. Resultados de la simulación del rodal 4D.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE	
		PRE	POST 1 AÑO	PRE	POST 1 AÑO
Tipo de fuego de copas	---	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	1,7	3,1	2,2	0,1
Calor liberado	kJ/m2	23.331	23.063	23.236	1.526
Intensidad de línea de fuego	kW/m	650	1.203	842	3
Longitud de llama	m	1,5	2	1,7	0,1
Altura de quema	m	12,5	19,2	15	0,1

5.7. Rodal 4C – Girona – Camps i Armet

- Especie arbórea principal: *Quercus suber*
- *Escenario meteorológico: viento de 28 km/h y temperatura de 33 °C.*

Tabla 13. Resultados de la simulación del rodal 4C.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 1 AÑO	PRE	POST 1 AÑO	PRE	POST 1 AÑO
Tipo de fuego de copas	---	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	1,2	1	0,6	0,3	0,6	1,4
Calor liberado	kJ/m2	23.846	26.186	8.908	12.532	20.494	9.732
Intensidad de línea de fuego	kW/m	460	453	93	53	212	235
Longitud de llama	m	1,3	1,3	0,6	0,5	0,9	1
Altura de quema	m	10	9,9	3,2	2	5,8	5,9

5.8. Rodal 4R - Sant Celoni

- Especie arbórea principal: *Quercus pubescens*
- *Escenario meteorológico: viento de 27 km/h y temperatura de 16 °C.*

Tabla 14. Resultados de la simulación del rodal 4R.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Pasivo	Pasivo	Pasivo	Pasivo	Pasivo	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	8,5	9,9	10,4	6	12,5	0,9
Calor liberado	kJ/m2	33.591	32.835	36.216	30.034	41.582	23.757
Intensidad de línea de fuego	kW/m	4.777	5.391	6.249	3.005	8.660	361
Longitud de llama	m	7,6	8,2	9	5,5	11,2	1,2
Altura de quema	m	11,6	18,2	11,7	7,3	14,3	5,2

5.9. Rodal 4M - Sora

- Especie arbórea principal: *Pinus sylvestris*
- *Escenario meteorológico: viento de 33 km/h y temperatura de 15 °C.*

Tabla 15. Resultados de la simulación del rodal 4M.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Activo	Activo	Pasivo	Superficie	Pasivo	Pasivo
Velocidad de propagación	m/min	18,9	18,9	13,7	0,3	15	12,3
Calor liberado	kJ/m2	46.074	40.543	37.451	6.249	42.954	29.990
Intensidad de línea de fuego	kW/m	14.499	12.759	8.541	32	10.714	6.172
Longitud de llama	m	15,8	14,5	11,1	0,4	12,9	9
Altura de quema	m	19,4	35,5	22,9	0,5	21,2	24,4

5.10. Rodal 3.2F - Sora

- Especie arbórea principal: *Quercus pubescens*
- *Escenario meteorológico: viento de 33 km/h y temperatura de 15 °C.*

Tabla 16. Resultados de la simulación del rodal 3.2F.

Resultados		CONTROL		CLARA Y DESBROCE		ADEHESAMIENTO	
		PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS	PRE	POST 2_3AÑOS
Tipo de fuego de copas	---	Superficie	Pasivo	Superficie	Superficie	Pasivo	Superficie
Velocidad de propagación	m/min	1,2	15,2	2,7	0,6	10,9	1,5
Calor liberado	kJ/m2	2.613	34.108	16.472	8.037	32.365	6.892
Intensidad de línea de fuego	kW/m	53	8.637	751	75	5.855	177
Longitud de llama	m	0,5	11,2	1,6	0,6	8,6	0,8
Altura de quema	m	0,9	13,6	8,3	1,6	16,6	2,8

La Figura 5 muestra la relación entre la velocidad de propagación (ROS) y el calor liberado por unidad de superficie (HPA) en escenarios pretratamiento y postratamiento (2–3 años), permitiendo evaluar el efecto de diferentes tratamientos selvícolas sobre el comportamiento del fuego.

En ambos casos se observa una relación positiva entre calor liberado y ROS, coherente con la dinámica del comportamiento del fuego: a mayor energía liberada, mayor velocidad de propagación. Asimismo, los puntos se agrupan según el tipo de comportamiento del fuego, distinguiéndose claramente tres regímenes: fuego de superficie (baja intensidad y baja ROS), fuego de copas pasivo o torching (valores intermedios) y fuego de copas activo o crowning (altos valores de calor liberado y ROS).

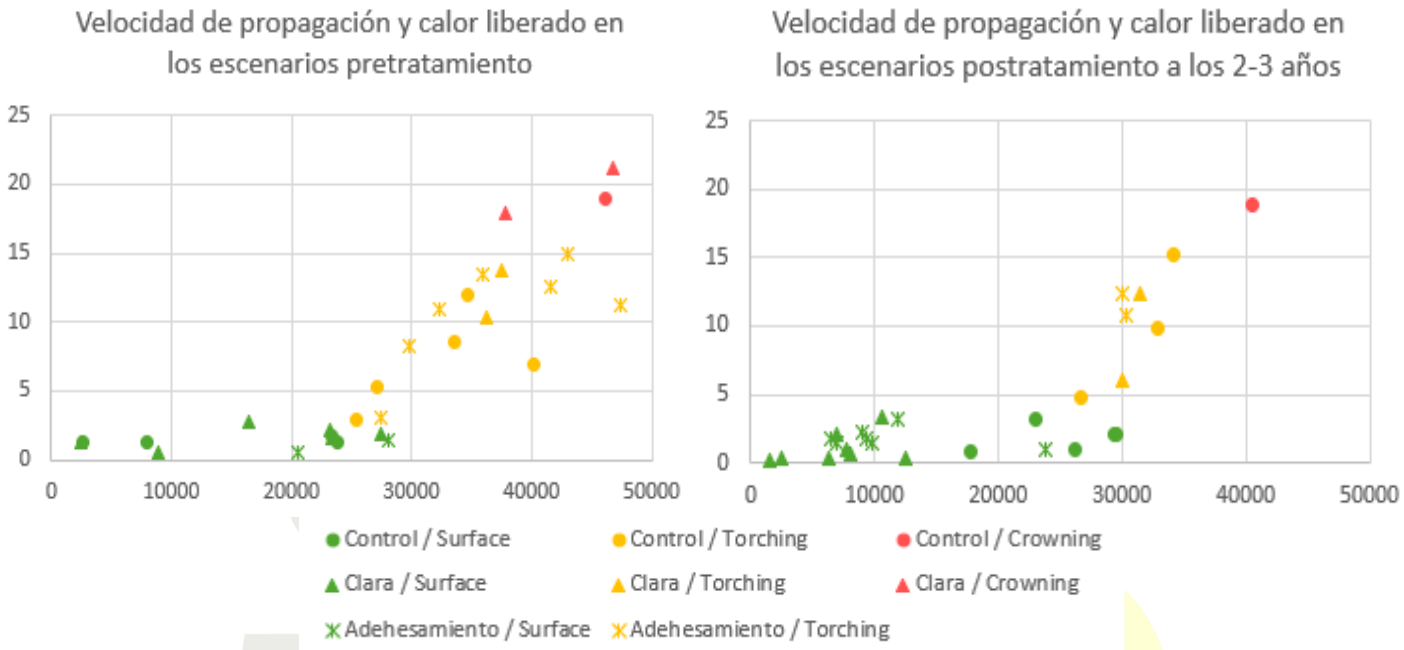


Figura 5. Velocidad de propagación (ROS, m/min) y calor liberado (Heat per unit area, kJ/m²) en los escenarios pre y postratamiento después de 2 a 3 años. Las parcelas control se representan con círculos, las tratadas mediante clara con triángulos y las de adehesamiento con una doble cruz. Los fuegos de superficie (Surface) se representan en color verde, los de fuego de copas pasivo (torching) en amarillo y los de fuego de copas activo (crowning) en rojo.

En el escenario pretratamiento, el tratamiento control presenta los valores más elevados tanto de calor liberado (hasta aproximadamente 50.000 kJ/m²) como de velocidad de propagación (superiores a 20 m/min), con una presencia destacada de fuego de copas activo. Este patrón indica una elevada continuidad vertical y horizontal del combustible, favoreciendo la propagación del fuego hacia las copas. Los tratamientos de clara y adehesamiento muestran una reducción moderada de la intensidad y la velocidad de propagación en comparación con el control, aunque todavía se observan casos de fuego de copas pasivo y algunos episodios de fuego de copas activo.

En el escenario postratamiento (2–3 años), se observa una reducción generalizada tanto del calor liberado como de la velocidad de propagación. La mayoría de los puntos se concentran en valores inferiores a 30.000 kJ/m² y velocidades de propagación inferiores a 12 m/min. Destaca el claro predominio del fuego de superficie, especialmente en las parcelas tratadas, lo que indica una disminución significativa de la intensidad del fuego y una mayor capacidad de control. El fuego de copas activo prácticamente desaparece, limitándose a casos puntuales en el tratamiento control, mientras que el fuego de copas pasivo sigue presente, pero con menor intensidad.

5.11. Conclusiones

En conclusión, los tratamientos analizados contribuyen de forma efectiva a desplazar el régimen de fuego desde condiciones de alta intensidad y propagación rápida hacia escenarios dominados por fuego de superficie, más manejables desde el punto de vista de la extinción.

Como podemos observar en la tabla 17, se obtiene una clara mejora general en cuanto al comportamiento del fuego con los tratamientos selvícolas ejecutados.

Tabla 17. Tabla resumen de porcentajes de parcelas pretratamiento y postratamiento después de 2-3 años según tratamiento y tipo de fuego de copas.

Tratamiento	Tipo de fuego de copas	% PRE	% POST 2-3 AÑOS	CAMBIO
Control	Superficie	14	21	Mejora
	Pasivo	17	10	Mejora
	Activo	3	3	Igual
Clara + desbroce	Superficie	21	28	Mejora
	Pasivo	7	7	Igual
	Activo	7	0	Mejora
Adehesamiento	Superficie	7	24	Mejora
	Pasivo	24	7	Mejora

Más concretamente, el tratamiento de clara elimina completamente el fuego de copas activo (crowning), el fuego de copas más severo. Aunque el fuego de copas pasivo (torching) no cambia, el aumento de fuego de superficie (surface) más la desaparición de crowning implica una mejora clara y relevante.

En el caso del tratamiento de adehesamiento, se observa el cambio más marcado. Vemos un fuerte aumento de fuego de superficie y una fuerte reducción del fuego de copas pasivo. Esto indica una gran reducción del potencial de fuego de copas.

En las parcelas control, aunque no tendría por qué, se observa mejora.

6. Diseminación de los resultados del seguimiento

Los datos recopilados en esta acción, adecuadamente analizados, se emplean en, al menos, los siguientes productos de comunicación del proyecto:

· Vilarnau, M; Coello, J; Margalef, J; Llena, G; Gallego, M; Vilà, L; Tejedor, R; Mollà, S; Cárdenas, C; Liagre, F. Outcomes of LIFE AgroForAdapt (2021-26): five years promoting agroforestry for climate change adaptation in the Mediterranean. European Agroforestry Conference.

· Salida de campo del Seminario final del proyecto: 10 junio 2026.

· Jornada de campo del 23 de junio de 2026, organizada conjuntamente con el proyecto SUDOE CoopTree.

Se prevé además la publicación de un artículo científico para evaluar los efectos de los tratamientos en los servicios ecosistémicos.

7. Bibliografía

Busquets, E., Castellnou, M., González-Olabarria, JR., Piqué, M. 2019. *Escenaris meteorològics per la simulació d'incendis forestals*. Servidor PREVINCAT.

De Cáceres M. 2022. The medfate reference book. (n.d.). Retrieved August 29, 2022, from https://emf-creaf.github.io/medfatebook/index.html.

Heinsch, F. A., & Andrews, P. L. (2010). BheavePlus 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

Piqué, M.; Castellnou, M.; Valor, T.; Pagés, J.; Larrañaga, A.; Miralles, M.; Cervera, T. 2011. *Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades*. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

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

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.

Anexo fotográfico

Rodal *Pinus halepensis*, Aiguamurcia, Cataluña (código rodal: 4A).

Clara y desbroce:



Adehesamiento



Rodal *Pinus halepensis*, Sant Climent de Llobregat, Cataluña (código rodal: 3.2A).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Quercus ilex*, Sant Climent de Llobregat, Cataluña (código rodal: 4B).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Pinus halepensis*, Sant Mateu de Bages, Cataluña (código rodal: 4J_3.2G).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Quercus pubescens*, Sant Mateu de Bages, Cataluña (código rodal: 4K_3.2G).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Quercus ilex*, Sant Celoni, Cataluña (código rodal: 4R).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Pinus sylvestris*, Sant Celoni, Cataluña (código rodal: 4M).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:



Rodal *Quercus pubescens*, Sora, Cataluña (código rodal: 3.2F).

Clara y desbroce:



Adehesamiento:

