



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

**9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL**

**9CFE-1576**

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

Organiza





## De la respuesta al fuego a la planificación: un proceso metodológico combinado aplicado en regímenes de incendios mediterráneos y norteeuropeos

CANALETA GARCIA, G. (1), PRAT-GUITART, N (1) BALLART PASTOR, H. (1), VENDRELL FLOTATS, J. y PAGÈS CASTELLÀ, J (2)

(1) Fundació Pau Costa  
(2) FOREST4

### Resumen

Este artículo presenta un proceso metodológico combinado (PMC) aplicado en ecosistemas mediterráneos y adaptada a otras regiones de Europa para gestionar el riesgo de incendios forestales y apoyar la planificación y toma de decisiones. Ante el aumento de incendios forestales de gran magnitud impulsados por el cambio climático y la falta de gestión del paisaje, el PMC permite identificar zonas estratégicas para la gestión del riesgo integrando (1) el conocimiento de expertos en manejo de incendios, (2) las simulaciones de comportamiento y propagación del fuego y (3) la involucración de los actores locales y usuarios de la planificación, permitiendo la creación de planes de acción adaptados a cada territorio. Se presentan dos estudios de caso donde se ha implementado esta metodología: el Parque Natural de Collserola en España y la región de Slieve Beagh en Irlanda. A pesar de las diferencias entre estos territorios, la flexibilidad del PMC es clave para adaptarlo a otros ámbitos, siempre considerando el contexto local. Así pues, partiendo del análisis del ámbito de estudio y de su régimen y riesgo de incendios forestales, el resto de los pasos pueden ser modificados según la disponibilidad de información y las necesidades de los usuarios de la planificación.

### Palabras clave

Co-creación, enfoque multi actor, infraestructuras estratégicas, planificación territorial, riesgo de incendios forestales.

### 1. Introducción

#### 1.1. ¿Cuál es la situación que lleva a la necesidad de contar con este método?

El combustible acumulado en el paisaje y el desarrollo de la interfaz urbana-forestal (IUF), junto con los impactos del cambio climático, están provocando el desbordamiento de la capacidad de extinción de incendios en Europa (COSTA ET AL. 2011; CARDIL Y MOLINA 2015; DIAKAKIS ET AL. 2016; MODUGNO ET AL. 2016; MOLINA-TERRÉN ET AL. 2019). El enfoque del problema desde la perspectiva de la respuesta durante la emergencia como solución predominante a los incendios forestales están siendo costosa e ineficiente (MOREIRA et al., 2020). Por este motivo, en los últimos años, los esfuerzos de la comunidad de incendios internacional se han desplazado hacia enfoques de gestión de incendios más



integrados en el territorio y con énfasis en la mitigación y la adaptación (BACCIU et al., 2022).

Son un claro ejemplo los puntos estratégicos de gestión (PEG). Los PEG son infraestructuras de extinción planificada, asociados a una estrategia frente a un escenario de incendio concreto. Están asociados a maniobras conocidas, seguras, acordadas y dimensionadas para reducir el comportamiento del incendio y limitar su propagación. Los PEG se enfocan en las oportunidades, ventanas y puntos críticos frente a una lógica de extinción conocida, y defienden un potencial de propagación. Su identificación implica un compromiso, puesto que es una herramienta para integrar el riesgo de grandes incendios forestales (GIF) en la planificación territorial (DACAAR y DINT, 2024). Para ello, la planificación territorial desempeña un papel fundamental en la integración de enfoques y la conexión de una variedad de actores con diferentes competencias (por ejemplo, servicio de extinción, propietarios o gestores forestales) y en todos los sectores (ASCOLI et al. 2023). Además, la planificación contribuye a conectar la prevención y gestión del territorio con la extinción, permitiendo desarrollar la capacidad de respuesta.

### 1.2. De dónde proviene (relación con el análisis/extinción de incendios)

El proceso metodológico combinado (PMC) que se presenta aquí toma como base el conocimiento del análisis de incendios adquirido durante años de desarrollo de enfoques de extinción de incendios en Catalunya por parte del grupo de apoyo a las actuaciones forestales (GRAF), para hacer frente a diferentes tipos de emergencias por incendios forestales (CASTELLNOU et al., 2019; CASTELLNOU et al. 2022). A su vez, el PMC también integra los avances en información territorial y modelización, que están permitiendo informar empíricamente la planificación de la respuesta y zonas estratégicas a través de las simulaciones del comportamiento y propagación de incendios potenciales bajo escenarios conocidos (QUILEZ 2017).

Los principios diseñados para la extinción de incendios se han ido adaptando e integrando en la planificación. Con este enfoque, la planificación ha alcanzado el doble objetivo de preparar el paisaje para reducir el riesgo de grandes incendios forestales y proporcionar oportunidades seguras para la respuesta al fuego (FERNANDES et al. 2013). También considera prácticas de gestión forestal sostenible y valores paisajísticos definidos por las partes interesadas en el proceso (PIQUÉ et al. 2011; GAMBOA et al. 2023; TEDIM et al. 2016). Este último punto es especialmente relevante, pues permite definir una estrategia frente a grandes incendios que está previamente acordada con la población, identificando zonas a proteger y zonas que, según el escenario, van a ser sacrificadas en beneficio de otras zonas más prioritarias (OTERO et al. 2018).

### 1.3. Aplicación en diferentes regiones, con diferentes regímenes de incendios, pero mismos principios



A lo largo de los años, la metodología se ha utilizado en la planificación de diferentes unidades territoriales de Cataluña (Collserola, Montseny, Garraf), y también fuera de ella, incluidas regiones con regímenes de incendios distintos del Mediterráneo (Asturias, República de Irlanda, Norte de Irlanda). La estandarización del proceso y el hecho de que esté basado en principios de análisis del riesgo de incendios permite aplicar la metodología a diferentes sistemas socioecológicos, adaptándose a las necesidades y objetivos de los usuarios finales del plan. Para ello, se presenta en detalle el caso de estudio del parque natural de Collserola (demarcación de Barcelona) como ejemplo de aplicación de la metodología en el ámbito mediterráneo, así como su adaptación a un contexto atlántico a través del caso de estudio de Slieve Beagh, una zona de especial conservación localizada en la frontera entre Irlanda del Norte y la República de Irlanda.

### 2. Objetivos

El artículo tiene como objetivo principal mostrar cómo se han integrado distintas aproximaciones de planificación territorial para reducir el riesgo de grandes incendios forestales en el caso de estudio del parque natural de Collserola como ejemplo de ecosistema mediterráneo. Por este motivo, se pone el foco en el potencial de considerar el conocimiento experto del servicio de extinción, las herramientas para simular el comportamiento y propagación de los incendios y la visión de los actores locales y usuarios finales del plan, con el objetivo de identificar los PEG.

Como objetivo complementario, el artículo subraya el potencial de adaptabilidad de esta metodología a otros contextos, como el atlántico, mostrando como se ha adecuado al caso de estudio de Slieve Beagh en Irlanda.

### 3. Metodología

El PMC se divide en 5 grandes bloques que se detallan a continuación: (1) análisis del riesgo y definición del escenario de planificación, (2) integración del conocimiento experto y actores locales (3) aplicación de las simulaciones, (4) validación en campo y (5) priorización de los PEG.

#### 3.1. Identificación del escenario de riesgo

El análisis del riesgo va estrechamente ligado al régimen de incendios del ámbito de estudio. Mediante la caracterización del régimen se puede conocer las condiciones que derivan en escenarios de riesgo (característica y estado de los combustibles, meteorología, patrón de igniciones), las características de los incendios (distribución temporal y espacial, comportamiento) y los efectos (ecológicos y sociales) (KREBS et al. 2010), determinando así como actúa el fuego como perturbación y facilitando la planificación de infraestructuras estratégicas.



Para el caso de Collserola se consultó la base de datos de incendios del servicio de prevención de la Generalitat de Catalunya, que ofrece una amplia información de los incendios ocurridos entre el período 1987 – 2020. Partiendo de los perímetros de los incendios, así como de las fechas, se determinaron los incendios tipo más relevantes de la zona (COSTA et al. 2011).

En este punto también es clave determinar los escenarios para los cuáles se está planificando. Para ello se usa el concepto de generaciones de incendios, que indican como han cambiado los incendios forestales acorde con los cambios socioecológicos, económicos y tecnológicos (CASTELLNOU et al. 2021), empezando por incendios de superficie y poca capacidad de propagación de la primera generación, y terminando por los eventos extremos de la sexta. El objetivo es determinar cuál es la generación de incendios para la cual se está haciendo la planificación, asumiendo, por un lado, que los incendios de menor generación pueden tener otras estrategias de extinción más simples, y por el otro lado, que los incendios de más generación pueden salir de la capacidad de extinción.

### 3.2. Conocimiento experto

En el contexto de Catalunya, los planes de prevención de los perímetros de protección prioritaria (i.e. zonas de alto riesgo), así como de otros ámbitos como parques naturales, acostumbran a ser redactados por equipos redactores de entidades privadas, tal y como sucede en el parque de Collserola. Sin embargo, hay que integrar la visión tanto de los usuarios finales del plan, como de los actores locales que van a tener que convivir con el resultado de la planificación. Este paso es crucial para asegurar una ejecución más fluida y sostenida en el tiempo.

El proceso de trabajo integra una parte fundamental basada en las décadas de experiencia en extinción y análisis de incendios de GRAF. A grandes rasgos, es un método que consiste en la sectorización del territorio en función de la capacidad de propagación del incendio, es decir, dividir el territorio de planificación para simplificar el escenario y posteriormente identificar las principales vías que permitirían al incendio propagarse entre polígonos potenciales, pudiendo determinar cuáles son las zonas más estratégicas para gestionar el avance del incendio. Como usuarios de las infraestructuras estratégicas durante los incendios, es imprescindible que se incluya este método en la planificación. Esta metodología está bien definida y documentada en múltiples publicaciones (COSTA et al. 2011; CASTELLNOU et al. 2019; ARILLA et al. 2023).

La visión de la parte gestora es también imprescindible, pues agencias como el ente gestor del parque natural, el servicio de prevención o el servicio de bosques tienen competencias en la gestión forestal de las zonas estratégicas identificadas. En este sentido, un punto importante es definir los objetivos de gestión del ámbito, de forma que se pueda incluir la gestión de GIF con otros objetivos relacionados, por ejemplo, con la conservación, los aprovechamientos forestales, la agricultura y la ganadería o el uso lúdico del parque. En Collserola se mantuvieron reuniones



periódicas con todos los actores, así como reuniones individuales para tratar temas específicos, que permitieron definir las distintas visiones y detectar sinergias e incompatibilidades.

### 3.3. Aplicación de las simulaciones

El uso de simulaciones a través de la generación de modelos de paisaje representa un gran avance en la planificación. Estos modelos incluyen las variables elevación (m), pendiente (%), orientación (°), combustible de superficie (SCOTT & BURGAN, 2025), altura del arbolado (m), altura primera rama viva (m), fracción de cuba cubierta (%) y densidad aparente de copas ( $\text{kg/m}^3$ ), generando un archivo de paisaje (.lcp) que combinado con escenarios meteorológicos horarios de incendios reales permiten definir de forma aproximada la propagación y el comportamiento de los incendios. Para el caso de Collserola se ha obtenido el archivo de paisaje y los escenarios meteorológicos de riesgo del servidor PREVINCAT (GONZÁLEZ-OLABARRIA et al. 2019; BUSQUETS et al. 2019), una herramienta que proporciona los datos de entrada necesarios para este tipo de simulaciones. Las salidas de las simulaciones que se buscan para el caso de Collserola son dos: la capacidad de extinción y las principales carreras del fuego.

La capacidad de extinción viene dada por simulaciones estáticas del comportamiento del fuego. Estas simulaciones calculan la longitud de llama, la velocidad de propagación y la actividad de copas por toda el área de estudio, sin necesidad de aplicar un punto de ignición. De esta forma, conociendo cuál es el límite de capacidad para cada una de las tres variables del comportamiento (que depende del servicio de extinción), se identifica cuáles son las zonas del territorio que podrían presentar un comportamiento fuera de capacidad, para cualquier escenario meteorológico que se quiera analizar.

Las principales carreras de fuego se determinan mediante el *Minimum Travel Time*, que identifica, para múltiples puntos de ignición, las principales carreras de fuego de cada escenario meteorológico. De esta salida se extraen los *hotspots*, es decir, las zonas del territorio que son capaces de generar más carreras de fuego. El solapamiento entre la capacidad de extinción y de las carreras permite generar un mapa final con los puntos más críticos del ámbito de estudio.

### 3.4. Validación en campo

La aplicación de los métodos descritos en los puntos anteriores acaba permitiendo generar una primera cartografía de zonas estratégicas provisionales, que deben ser visitadas a campo para su validación, modificación y dimensionamiento. Este paso se hizo, mayormente, con los Bombers de la Generalitat y Bombers de Barcelona, quienes identifican, según su capacidad operativa, las zonas estratégicas y sus infraestructuras de apoyo (i.e. puntos de agua, red viaria y forestal, zonas seguras), como usuarios finales del plan. Este paso permite también definir con exactitud el tamaño y los límites de las zonas estratégicas marcadas



sobre mapa. Además, en aquellas zonas más críticas por incompatibilidades con la conservación, se organizaron visitas de campo con los actores implicados para definir el impacto potencial, así como medidas mitigadoras relacionadas con la estacionalidad de los trabajos o el tipo de actuaciones.

### 3.

#### a. Priorización de los PEG

La priorización de los PEG es importante para establecer el orden de ejecución de los trabajos forestales. Se realiza considerando diversos factores para identificar las áreas más relevantes en la prevención y extinción de incendios forestales. Los criterios pueden incluir la utilidad técnica y operativa del PEG, evaluada por el número de incendios tipo que puede gestionar; las hectáreas protegidas, determinadas según las conexiones entre polígonos de potencial de fuego y la capacidad del PEG para interrumpirlas; el número de personas protegidas, calculado en función de los habitantes beneficiados por su ubicación; y la valoración experta, basada en conocimientos técnicos sobre la eficacia del PEG en su contexto específico.

En el caso del Parque Natural de Collserola, la priorización de los PEG ha considerado la alta densidad de población en sus límites y la proximidad a zonas urbanas vulnerables. Los criterios aplicados han identificado los PEG con mayor capacidad para proteger al mayor número de personas y para interrumpir posibles propagaciones de incendios en puntos críticos, como crestas y fondos de barranco. Asimismo, se ha valorado especialmente su conexión con otras infraestructuras de extinción y su capacidad para salvaguardar los corredores ecológicos que conectan Collserola con otros espacios naturales.

### 3.

#### a. Adaptación en Slieve Beagh (Irlanda)

La misma metodología mostrada en los puntos anteriores se desarrolló en el caso de estudio de Slieve Beagh, pero adaptándose al contexto socioecológico, social y técnico del ámbito. En este sentido, la obtención de información de los incendios históricos (2010 – 2021) fue proporcionada por parte de los servicios de incendios y rescate del norte de Irlanda y de la República de Irlanda (nivel administrativo de condado), complementándose con el análisis de imágenes del SENTINEL 2A y MODIS. Las simulaciones de incendios siguieron una metodología distinta, generando mapas estáticos de comportamiento (velocidad de propagación y longitud de llama) para una combinación de escenarios con 3 variables (situaciones meteorológicas, tipos de gestión, cambio climático). Las entradas de las simulaciones fueron definidas adaptando los modelos de combustible a los hábitats de Irlanda, mientras que los datos meteorológicos fueron obtenidos de estaciones locales oficiales de MetOffice. Para la redacción del plan y la planificación se contó con el seguimiento y participación de un grupo local de actores formado por servicios de extinción, propietarios forestales y gestores del espacio natural, entre otros, con quién se estableció contacto a través de asambleas generales y comisiones en función de su participación en el ciclo del riesgo (prevención, preparación, respuesta y recuperación).

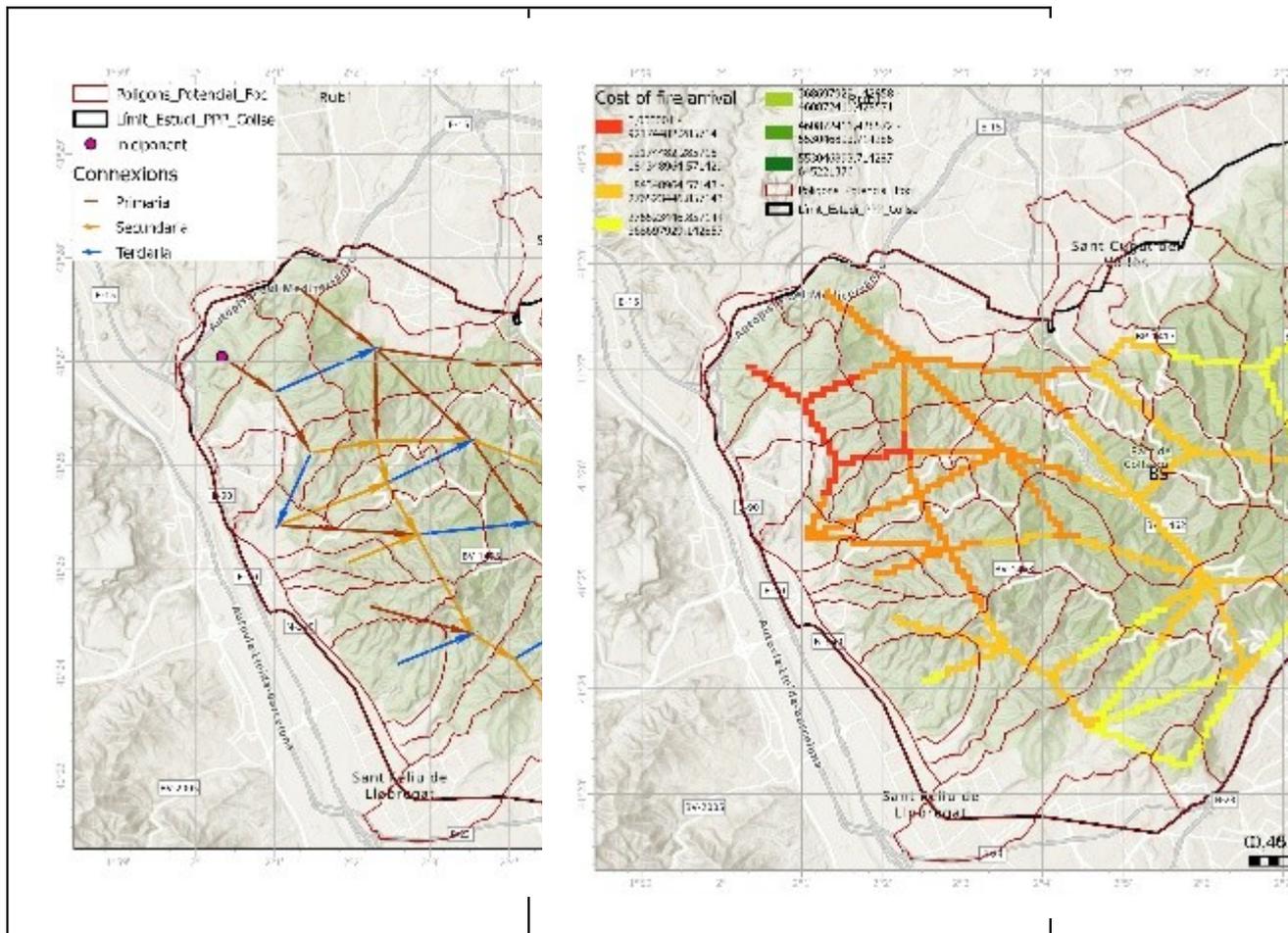


## 4. Resultados

### 4.1. Parque natural de Collserola

En relación con el análisis del riesgo, la información recabada permite destacar los siguientes puntos sobre el régimen de incendios. Collserola tiene un régimen de incendios puramente mediterráneo, con el pico de hectáreas quemadas en verano, siendo una perturbación natural necesaria para el ecosistema, pero que, dado la elevada presión antrópica, representa una potencial amenaza para los habitantes y usuarios del espacio, así como un gran riesgo de ignición (97% de las igniciones son de causa antrópica). El parque ha sido moderadamente afectado por los incendios forestales, con mucha variabilidad interanual debido a las condiciones de sequía, aún así, des de 1987 solo se han registrado dos incendios de más de 100 hectáreas (Sant Cugat 1994 y Sant Just Desvern 1991).

Los incendios tipo más destacados son convectivo con viento de poniente y el topográfico litoral. El primero no ha tenido mucha representación históricamente en el parque, siendo el incendio de Collserola 1994 el de referencia. Aun así, es un incendio asociado a bajas humedades relativas y altas temperaturas que se considera en la planificación por la capacidad que tendría de propagar por el macizo si se dan las condiciones. En cambio, el topográfico litoral no representa un riesgo tan marcado, pero su recurrencia en la vertiente litoral hace que sea un incendio a tener en cuenta. Otros incendios tipo detectados y por los que se ha planificado son el topográfico estándar y de succión de valle (ver incendios tipo en COSTA et al. 2011).



*Figura 1. a) Sectorización de Collserola en polígonos potenciales, juntamente con el diagrama de propagación siguiendo el sistema de predicción de Campbell. b) Mapa de análisis Coste-Distancia como herramienta para estimar el tiempo de propagación de incendios entre polígonos de potencial. Fuente: Fundación Pau Costa.*

Conociendo esta información se sectorizó el parque acorde con los polígonos potenciales de propagación del fuego, (GRAF, 2023) incluyendo también el paso potencial del fuego entre sectores utilizando el sistema de predicción de Campbell (CAMPBELL 1991) (Figura 1a) y un análisis coste-distancia que permite entender, de forma aproximada, el tiempo de propagación entre polígonos (Figura 1b). En escenarios como este es necesario centrar la gestión en aquellos sectores que actúan como multiplicadores del potencial del incendio de forma más rápida. Por otro lado, se han llevado a cabo las simulaciones de comportamiento y carreras, obteniendo así distintos mapas de capacidad de extinción y de puntos críticos (Figura 2, Figura 3). A través de la valoración y discusión de los distintos análisis, y de la opinión de los actores del grupo de seguimiento, se diseñaron las zonas estratégicas del parque, con un total de 36 zonas, que ocupan una superficie de unas 2.000 ha. En el caso de Collserola se consideró apropiado hacer una planificación que busca un equilibrio entre el riesgo generado y la probabilidad de ocurrencia, de este modo, tiene como objetivo los incendios tipo más frecuentes en la zona (topográfico litoral, topográfico de succión de valle principal, topográfico estándar y convección con viento), con un comportamiento que no supere los 15

metros de altura de la llama y con lanzamiento de focos secundarios puntuales de máximo 300 metros. En cambio, es una planificación que no está pensada para pequeños incendios, incendios de interfaz ni incendios de sexta generación. La estrategia pasa por aprovechar las discontinuidades existentes a día de hoy, y asegurar ejes de confinamiento en aquellas zonas que actúan como multiplicadoras del potencial de propagación. Siempre teniendo en cuenta la capacidad del servicio de extinción para actuar. Posteriormente, se priorizaron los PEG siguiendo los criterios descritos.

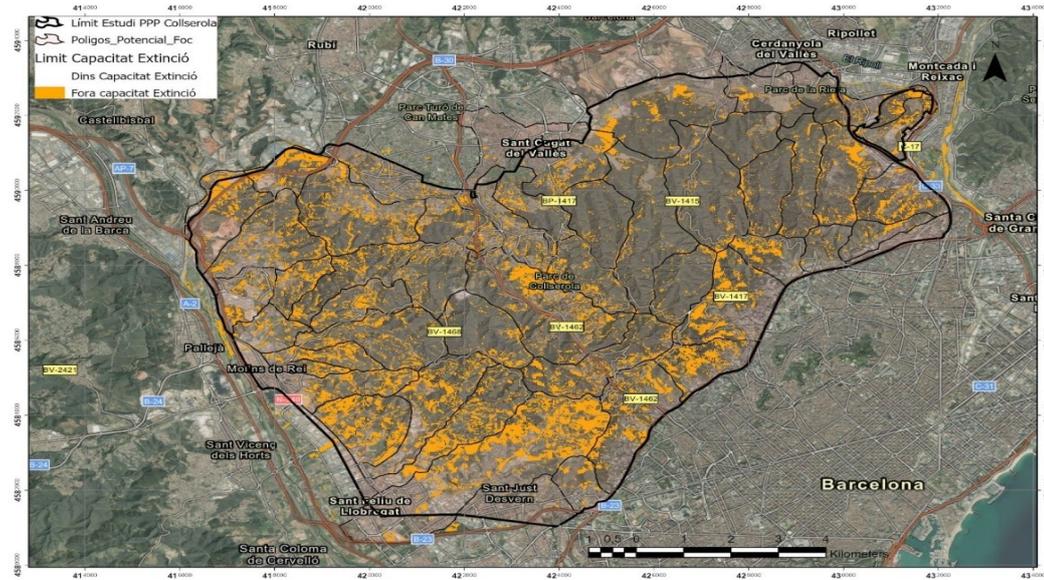


Figura 2. Resultado de las simulaciones de comportamiento para el escenario de convección con viento de poniente. Las zonas fuera de capacidad de extinción son resultado del solapamiento entre la longitud de llama, la velocidad de propagación y la actividad de copas. Fuente: Fundación Pau Costa.

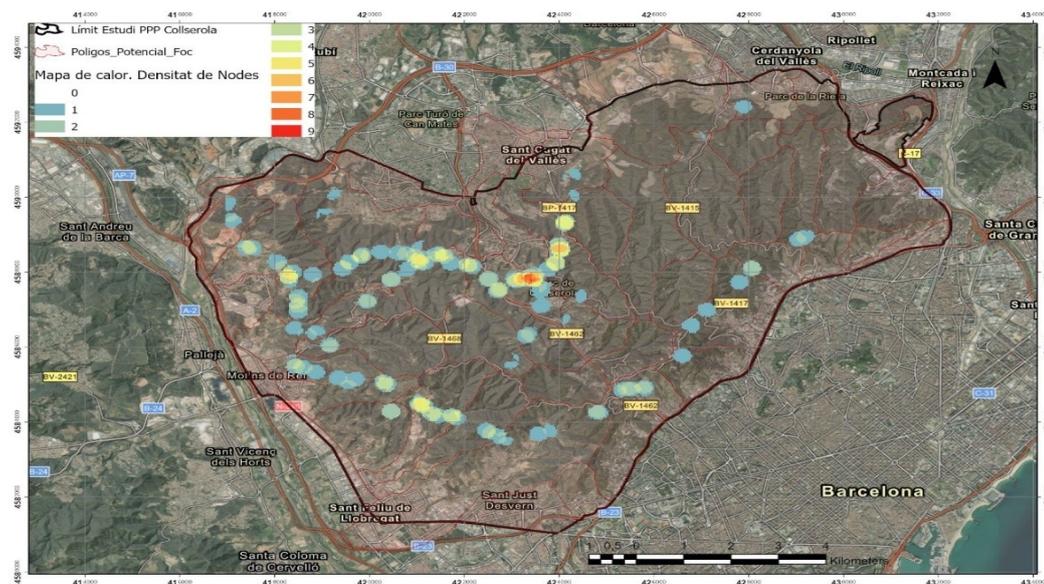
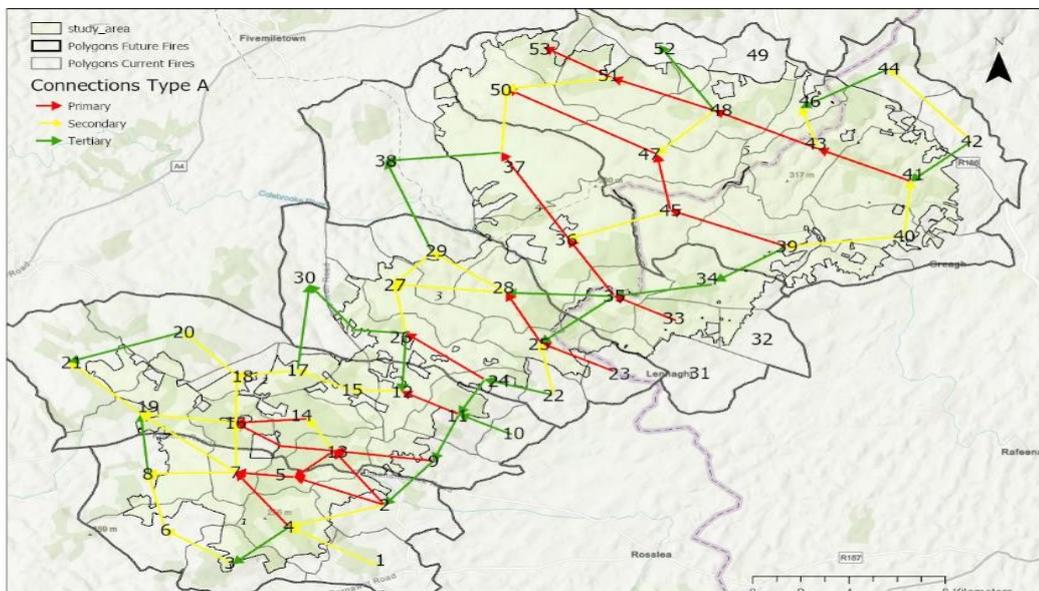


Figura 3. Resultado de las simulaciones de carreras de fuego, que identifican cuales son las zonas que el incendio tiende a seguir para propagarse. Escenario convectivo con viento de poniente. Fuente: Fundación Pau Costa.

#### 4.2. Slieve Beagh

Slieve Beagh (12.000 ha) es una zona de protección especial debido a la vulnerabilidad de su ecosistema, formado por turberas y una vegetación dominada por los brezales, tanto secos como en humedales. Presenta un régimen de incendios atlántico, más cercano al que se podría encontrar en el Pirineo. Por un lado, la temporada de incendios se suele extender entre finales de invierno y principios de primavera, siendo un régimen antrópico dominado por las quemadas controladas de ganaderos y propietarios forestales para rejuvenecer los pastos, que se descontrolan y acaban siendo incendios. Aun así, en el peor de los casos, los grandes incendios de la zona no suelen quemar más de 4 o 5 horas, y en muchas ocasiones se apagan solos cuando encuentran discontinuidades mínimas como carreteras o pequeños ríos. A la vez, se trata de una zona remota, con difícil acceso motorizado, de modo que cualquier operación de extinción se ve condicionada por la capacidad de respuesta del servicio de incendios.

Debido a la sinuosidad del ámbito, con pocas prominencias de terreno, los incendios tipo son de viento, pudiéndose dar con dos situaciones meteorológicas distintas. La situación A, de más riesgo, consiste de un anticiclón localizado en el norte de Europa, que lleva un viento caliente y seco a las Islas Británicas. La situación B se da cuando el anticiclón se desplaza encima de las Islas, que se traduce en temperaturas moderadas y baja humedad relativa, pero con poco viento sinóptico. Los incendios de referencia en la zona ocurrieron en 2011 y 2017.





*Figura 4. Sectorización de Slieve Beagh en polígonos de tamaño reducido, con el diagrama de propagación siguiendo el sistema de predicción de Campbell para la situación A. También se definen los grandes sectores de confinamiento (negro).*

*Fuente: Fundación Pau Costa.*

Con este análisis, a diferencia de Collserola, primero se sectorizó en grandes polígonos el ámbito de estudio con el objetivo de identificar los grandes ejes de confinamiento. Posteriormente se subdividieron los sectores en polígonos potenciales (igual que en Collserola), usados para analizar la propagación potencial del fuego tanto es situación A como en B, utilizando el sistema de predicción de Campbell (CAMPBELL 1991) (Figura 4). Esta diferenciación entre sectores más grandes y polígonos más pequeños sirvió como herramienta para poner sobre la mesa posibles escenarios futuros de GIF, que a día de hoy no se dan en el ámbito. La generación del esquema de propagación con los polígonos potenciales permitió identificar las zonas estratégicas. Debido al difícil acceso, se distinguieron entre las activas, con fácil acceso motorizado donde se espera la intervención del servicio de incendios y rescate, y las pasivas, con difícil acceso donde solamente se quiere generar una disminución del comportamiento del fuego. Posteriormente se priorizaron las zonas estratégicas en función del potencial protegido, el valor ecológico del potencial y la categoría (activa o pasiva).

Las simulaciones, a diferencia de Collserola, fueron usadas para ejemplificar el impacto de la gestión del territorio para combatir el incremento de los incendios forestales esperados en escenario de cambio climático. A través de las proyecciones del MetOffice (Servicio meteorológico del Reino Unido), se generaron escenarios meteorológico plausibles en condiciones de cambio climático, que derivan a un comportamiento más intenso y rápido del fuego en el ámbito de estudio. La modificación de los modelos de combustible ya sea a través de la reducción de la carga simulando la gestión forestal, como a través del aumento de la humedad simulando la restauración del ecosistema, se presentan como alternativas reales para mitigar el efecto del cambio climático en el comportamiento del fuego en Irlanda (Tabla 1). En cualquier caso, las simulaciones no se usaron en la planificación, sino como herramienta visual del impacto potencial del cambio climático y los efectos de la gestión del combustible.

*Tabla 1. Resumen de los resultados de las simulaciones. La 1\* y la 2\* se usan como escenario 0 de la situación A y B respectivamente. Para el resto de simulaciones (-) es reducción, (+) es incremento y (=) es sin cambio, comparado con su escenario 0 de referencia. Fuente: Simulaciones ejecutadas por Tecnosylva.*

ID sim	Sinóptica	Clima	Gestión	Longitud de llama	V. propagación
1*	A	Actual	No gestión	0	0
3	A	Actual	Estratégica	-	--
5	A	CC	No gestión	+	++
7	A	CC	Estratégica	=	+



2*	B	Actual	No gestión	0	0
4	B	Actual	Estratégica	-	-
6	B	CC	No gestión	+	+
8	B	CC	Estratégica	-	-

## 5. Discusión

### 5.1. Idoneidad del proceso metodológico combinado

Collserola representa un escenario de gestión complejo por distintos motivos. En primer lugar, se trata de un macizo de unas 8.000 hectáreas con mucha continuidad forestal que prácticamente no ofrece discontinuidades relevantes que puedan ser utilizadas en un GIF. Segundo, el espacio pertenece a la categoría de protección de parque natural e integra dos reservas naturales parciales en su interior, lo que implica que cualquier gestión debe respetar e integrar los criterios necesarios para conservar ese espacio. Además, el número de administraciones en distintos niveles y competencias genera una necesidad de coordinación y de toma de decisiones coherentes las unas con las otras difíciles de gestionar. Por último, el macizo tiene muchas urbanizaciones en interfaz urbana-forestal en su interior, hasta el punto de que unas 20.000 personas viven en el interior del parque expuestas a un posible incendio. A esto hay que sumar los visitantes (17.500 visitantes diarios en 2020 según datos del parque).

Con este contexto se subrayan dos puntos clave. Primero, es imperativo abordar la gestión del riesgo de incendios de forma que quede integrada en la planificación del territorio, hecho que se traduce en la identificación de zonas estratégicas para reducir la carga de combustible (PAUSAS & KEELEY 2019). Y segundo, esta planificación debe ser tratada desde un punto de vista transdisciplinar, aglutinando los requerimientos de todos los usuarios (MITECO 2022) y agentes locales (UYTTEWAAL et al. 2024).

El PMC presentado permite cumplir con ambos puntos a través de distintas aproximaciones. Si bien es conocido que la metodología de análisis de incendios desarrollada por Bombers de la Generalitat de Catalunya es especialmente útil en escenarios de emergencias y de gestión de la incertidumbre (COSTA et al. 2011; CASTELLNOU et al. 2019), en Collserola se usó como método de planificación a través del estudio de incendios históricos que permiten definir escenarios esperados de riesgo; la sectorización del territorio para definir vías de propagación potenciales con el conocimiento experto del servicio de extinción; el uso de simuladores de incendio que permite cuantificar el comportamiento del incendio y puntos multiplicadores en función del escenario; la integración de los diferentes sectores y niveles administrativos interesados en la temática. Es en esta convergencia de metodologías donde radica el valor añadido del PMC, que permite enfocar la problemática de los incendios desde un punto de vista multidisciplinar, conectando distintas aproximaciones y dotándola de una mayor robustez al tener en consideración diferentes procesos metodológicos de identificación de PEG. Este



hecho permite la validación entre metodologías y su complementariedad a través de la combinación y conexión entre metodologías que se hace mediante el solapamiento de las capas generadas por cada proceso.

Aunque no se ha aplicado en el caso de Collserola, el proceso de trabajo permitiría incluir otros pasos, por ejemplo, la cartografía de los valores del territorio (e.g. ambientales, sociales, lúdicos) para poder incluirlos en la toma de decisiones, incluso generando zonas estratégicas específicas para proteger los valores de más interés (OTERO et al. 2018; GAMBOA et al. 2023), siendo un paso a tener en cuenta cuando se planifican zonas de alto valor ambiental (MOREIRA et al. 2020). Este proceso hace que la implementación del plan sea más fluida, con los usuarios y actores implicados involucrados desde el inicio y habiéndose dado las discusiones en la fase de planificación.

### 5.2. Debilidades

Aunque el PMC es de gran utilidad y permite facilitar su implementación, es cierto que presenta una serie de debilidades que se comentan en este apartado.

Primeramente, el análisis del riesgo se basa, mayormente, en el estudio de eventos históricos (AGEE 1993; KEELEY & SYPHARD 2016). Con los escenarios actuales de cambio climático, es imprescindible empezar a incluir proyecciones climáticas en la planificación (MORITZ et al. 2014), buscando el equilibrio entre el escenario de riesgo esperado y las probabilidades de que realmente se cumpla.

Segundo, y relacionado con el primero, el plan no está pensado para un incendio de sexta generación (CASTELLNOU et al. 2021). Las zonas estratégicas son infraestructuras para optimizar la gestión forestal, pero para gestionar escenarios extremos es necesario reactivar la economía rural y la gestión integral del paisaje (TEDIM et al. 2018). Con el cambio climático se esperan fenómenos extremos, de modo que la planificación para estos escenarios va a ser imprescindible en los próximos años.

Por último, para la fase de simulaciones, es clave disponer de modelos de paisaje, y sobre todo, del combustible, actualizados y adaptados al contexto territorial. Los modelos de paisaje se suelen calibrar con datos LIDAR y mapas forestales (GONZÁLEZ-OLABARRIA et al. 2019), de modo que la actualización periódica y disponibilidad de estos datos es muy importante para que las simulaciones sean fieles a la realidad (FINNEY 2004). En ambos casos de estudio se utilizaron los modelos de Scott and Burgan (SCOTT & BURGAN 2005), siendo más fieles a las condiciones de Collserola que a las de Slieve Beagh. Del mismo modo, es importante reconocer las limitaciones de los diferentes simuladores de incendios (CARDIL et al. 2019) al interpretar el comportamiento y propagación del fuego de acuerdo con el modelo de paisaje y la meteorología.

### 5.3. Adaptabilidad a otros ámbitos de estudio



La flexibilidad del PMC es clave para adaptarlo a otros ámbitos, siempre considerando el contexto local. Así pues, partiendo siempre del análisis del ámbito de estudio y de su régimen y riesgo de incendios forestales, el resto de los pasos pueden ser modificados según la disponibilidad de información y las necesidades de los usuarios de la planificación.

Un ejemplo claro es Slieve Beagh, donde los incendios no son un gran problema, y aún no hay mucha información disponible (no se recogen los perímetros), aunque si hay un registro georreferenciado de las intervenciones relacionadas con incendios forestales de modo que se puede cartografiar los incendios por puntos (no perímetros). Si bien es cierto que para los incendios más recientes, sobre todo del 2017 hacia adelante, se pueden obtener los perímetros mediante las imágenes SENTINEL 2A.

La disponibilidad de información también puede tener impacto en el desarrollo técnico, por ejemplo, en las simulaciones. En Collserola, gracias al servidor PREVINCAT (GONZÁLEZ-OLABARRIA et al. 2019; BUSQUETS et al. 2019), se dispone de múltiples escenarios meteorológicos y modelos de combustible fieles a la realidad del territorio. Por el contrario, para Slieve Beagh, e Irlanda en general, no existen modelos de combustible adaptados al comportamiento de los incendios en turberas. Para solventarlo se equiparan los modelos convencionales (SCOTT & BURGAN, 2005), con los distintos hábitats de la zona, aunque no son capaces de reproducir de forma fiel la propagación ni el comportamiento. Por este motivo, en el caso de Irlanda se usaron las simulaciones como herramienta gráfica y pedagógica para mostrar el impacto de la gestión del paisaje en el comportamiento del fuego, siendo un resultado apto para la comparación entre escenarios, pero no para la toma de decisiones.

El objetivo de gestión también es un punto clave en la adaptación del PMC. Mientras que en Collserola hay un objetivo claro de prevención de grandes incendios, en Slieve Beagh el objetivo va ligado entre prevención y restauración del ecosistema. La conservación es muy importante, las turberas son un hábitat degradado y un objetivo muy claro de los entes gestores locales es su recuperación, para mejorar la funcionalidad y reducir el riesgo de incendios. La mayoría de las intervenciones tienen que buscar sinergias entre conservación y prevención de incendios (KALAPODIS & SAKKAS 2024), por ejemplo, mediante la reinundación de turbera degradada. Es decir, mientras que en Collserola la gestión pasa por la reducción de combustible, en Slieve Beagh estaría enfocada en hacer menos disponible ese combustible. El objetivo de gestión también es determinante para definir los factores a considerar en la priorización de PEG.

Otro tema relacionado con el objetivo de gestión es que, los actores de Collserola conocen perfectamente el riesgo de incendios y como está evolucionando, pues el ecosistema es dependiente del fuego. En este sentido destaca como los actores de Slieve Beagh, menos acostumbrados a episodios de incendios, sentían la necesidad de entender cómo puede afectar el cambio climático en el riesgo y régimen de



incendios en un futuro. Este hecho acaba derivando en la inclusión de las proyecciones climáticas de MetOffice en las simulaciones.

Otro aspecto a considerar es la capacidad operativa del servicio de extinción. Collserola es un parque muy concurrido, con muchos kilómetros de carreteras, pistas forestales y senderos que permiten a los Bomberos llegar a cualquier punto del parque en pocos minutos. En cambio, Slieve Beagh es una zona remota, con poca accesibilidad, pues al ser un ámbito de turbera, hay zonas inundadas, y con pocas pistas de acceso, de modo que plantear una estrategia de extinción de incendios muy intervencionista no es realista. El objetivo aquí es generar discontinuidades en zonas clave para evitar que el fuego tenga potencial de propagación, pero no hay maniobras asociadas ni se espera la intervención del servicio de extinción en la mayoría de los casos.

Este último punto va ligado al comportamiento esperado de los incendios. Aunque Irlanda empieza a tener incendios más grandes y de comportamiento más intenso, aún están lejos de los grandes incendios que ha habido y que se espera que haya en el arco mediterráneo. De esta forma, mientras que en Slieve Beagh es suficiente con el mantenimiento de discontinuidades (e.g. carreteras, ríos) y restauración de hábitat (e.g. reinundación de turbera degradada), en Collserola hacen falta zonas estratégicas amplias y localizadas en los puntos más críticos para la propagación, con una estrategia de extinción bien definida (e.g. zonas seguras, puntos de agua, pistas de escape).

## 6. Conclusiones

El PMC ha resultado ser útil para la planificación de incendios forestales en diferentes ecosistemas, destacando los siguientes puntos:

- Se basa en el análisis del régimen de incendios, seleccionando incendios de referencias que sirven para determinar el escenario de riesgo para el que se trabaja.
- La inclusión de los usuarios finales del plan, así como otros grupos locales, es clave para definir los objetivos del plan y los resultados e impacto esperado. Los requerimientos de estos actores determinan la planificación, integrando objetivos de prevención, con la conservación o desarrollo rural entre otros. Este dialogo es el que acaba facilitando la implementación del plan en fases más avanzadas.
- El criterio experto del servicio de extinción es especialmente relevante, pues son los encargados de usar las zonas estratégicas el día del incendio. La identificación de zonas estratégica y su dimensionamiento debe ser un trabajo conjunto entre el equipo redactor y el servicio de extinción.
- Los simuladores, con sus limitaciones, son una herramienta útil para cuantificar el comportamiento y propagación del incendio de una forma objetiva. Su uso en la planificación o simplemente como herramienta informativa dependerá de la fiabilidad de los modelos de paisaje disponibles.
- El trabajo de campo, visitando las zonas estratégicas marcadas sobre mapa es imprescindible para verificarlas y dimensionarlas acorde con la realidad



- territorial.
- El valor añadido del PMC se encuentra en la convergencia de metodologías, que permite enfocar la problemática de los incendios desde un punto de vista multidisciplinar, dotándola de una mayor robustez al tener en consideración diferentes procesos metodológicos de identificación de PEG, echo que permite validarlos entre metodologías e incluso complementarse.
- Las principales limitaciones están relacionadas con la disponibilidad de datos y la incertidumbre con escenarios futuros derivados del cambio climático.
- La adaptabilidad del PMC va a ser condicionada por los requerimientos de los usuarios del plan, los objetivos de gestión y el contexto socioecológico y territorial en general.

### 7. Agradecimientos

El proceso metodológico combinado presentado es resultado de la colaboración entre múltiples agencias. Por la parte de Collserola, Bombers de la Generalitat, Bombers de Barcelona, Parque Natural de Collserola, Servicio de prevención de incendios, servicio de bosques. Por parte de Slieve Beagh, Monaghan county council, Golden Eagle Trust, Hen Harrier Project, River Blackwater, Catchment trust, Knockatallon rambblers, state manager, Department of agriculture, Environmental and rural affairs department, National Parks and wildlife, Northern Ireland fire and rescue service, Monaghan fire service, Northern Ireland forestry service, Department of agricultura and forestry, Coillte forestry, An Taisca.

### 8. Bibliografía

AGEE, J.K. 1993. Fire ecology of Pacific northwest forests. Island Press.

ASCOLI, D.; PLANA, E.; OGGIONI, S.D.; TOMAO, A.; COLONICO, M.; CORONA, P.; GIANNINO, F.; MORENO, M.; XANTHOPOULOS, G.; KAOUKIS, K.; ATHANASIOU, M.; COLAÇO, M.C.; REGO, F.; SEQUEIRA, A.C.; ACÁCIO, V.; SERRA, M.; BARBATI. 2023. Fire-smart solutions for sustainable wildfire risk prevention: Bottom-up initiatives meet top-down policies under EU green deal. International Journal of disaster risk management. 92.

ARILLA, E.; BACHFISCHER, M.; CASTELLARNAU, X.; CESPEDES, J.; CASTELLNOU, M.;

CASTELLVÍ, J.; DALMAU, E.; ESTIVILL, L.; FERRAGUT, A.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; NEBOT, E.; PAGÈS, J.; PALLÀS, P.; ROSELL, M.; RUIZ, B. 2023. Piloting the adaptation of methodology of forest fire potential polygons. D1.3. Deliverable D1.1 FIRE-RES project. 20 pages. DOI: 10.5281/zenodo.7991283

BACCIU, V.; SIRCA, C.; SPANO, D. 2022. Towards a systemic approach to fire risk management. Environmental science and policy. 129, 37-44.

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



CAMPBELL, D. 1991. The Campbell Prediction System: A wildland fire prediction and communication system.

CARDIL, A.; MOLINA, D. 2015. Ecology, meteorology and simulation of large wildland fires. Universitat de Lleida.

CARDIL, A.; MONEDERO, S.; RAMÍREZ, J.; SILVA, C.A. 2019. Assessing and reinitializing wildland fire simulations through satellite active fire data. Journal of environmental management. 231, 996-1003.

CASTELLNOU, M.; PRAT-GUITART, N.; ARILLA, E.; LARRAÑAGA, A.; NEBOT, E.; CASTELLARNAU, X.; VENDRELL, J.; PALLÀS, J.; HERRERA, J.; MONTURIOL, M.; CESPEDES, J.; PAGÈS, J.; GALLARDO, C.; MIRALLES, M. 2019. Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. Fire Ecology. 15, 31.

CASTELLNOU, M.; MIRALLES, M.; LARRAÑAGA, A.; NEBOT, E.; ARILLA, E.; CASTELLARNAU, X. 2021. Clasificación de las generaciones de incendios forestales: actualización. Revista incendios y Riesgos Naturales.

COSTA, P.; CASTELLNOU, M.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; KRAUS, D. 2011. La prevención de los grandes incendios forestales adaptada al incendio tipo. Unitat tècnica del GRAF. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

DEPARTAMENT D'ACCIÓ CLIMÀTICA, ALIMENTACIÓ I AGENDA RURAL; DEPARTAMENT D'INTERIOR. 2024. Pla anual per a la prevenció, vigilància i extinció dels incendis forestals de la Generalitat de Catalunya per a l'any 2024. Generalitat de Catalunya.

DIAKAKKIS, M.; XANTHOPOULOS, G.; Gregos, L. 2016. Analysis of forest fire fatalities in Greece 1977 – 2013. International Journal of Wildland fire. 25, 797-809.

FERNANDES, P. M.; DAVIES, G. M.; ASCOLI, D.; FERNÁNDEZ, C.; MOREIRA, F.; RIGOLOTTI, E.; STOOFF, C. R.; VEGA, J. A.; MOLINA, D. 2013. Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change. Forest Policy and Economics 29:1–6.

GAMBOA, G.; OTERO, I.; BUENO, C.; ARILLA, E.; BALLART, H.; CAMPRUBI, L.; CANALETA, G.; TOLOSA, G.; CASTELLNOU, M. 2023. Participatory multi-criteria evaluation of landscape values to inform wildfire management. Journal of environmental management. 327 (2) 116-762



GONZÁLEZ-OLABARRIA, JR., PIQUÉ, M. BUSQUETS, E. 2019. Cartografía de vegetació per la simulació d'incendis forestals. Servidor PREVINCAT.

GRAF, UT. 2023. Metodologia de polígons de potencial de foc. Guia tècnica. Generalitat de Catalunya, Departament d'Interior.

KALAPODIS, N.; SAKKAS, G.; 2024. Integrated fire management and closer to nature forest management at the landscape scale as a holistic approach to Foster forest resilience to wildfires. Open Research Europe.

KEELEY, J.E.; SYPHARD, A.D. 2016. Climate change and future fire regimes: Examples from California. *Geosciences*, 6(3), 37.

KREBS, P.; PEZZATTI, G.B.; MAZZOLENI, S.; TALBOT, L.; CONEDERA, M. 2010. Fire regime: history and definition of a key concept in disturbance ecology. *Theory in bioscience*. 129, 53-69.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. 2022. Orientaciones estratégicas para la gestión de incendios forestales en España. Conferencia sectorial de medio ambiente.

MODUGNO, S.; BALZTER, H.; COLE, B.; BORRELLI, P. 2016. Mapping regional patterns of large forest fires in wildland-urban interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*. 172, 112-126.

MOLINA-TERRÉN, D.; XANTHOPOULOS, G.; DIAKAKIS, M.; RIBEIRO, L.M.; CABALLERO, D.; DELOGU, G.; VIEGAS, D.; SILVA, C.A.; CARDIL, A. 2019. Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy). *International journal of Wildland Fire*. 28.

MOREIRA, F.; ASCOLI, D.; SAFFORD, H.; ADAMS, M.; MORENO, J. M.; PEREIRA, J. M. C.; CATRY, F.; ARMESTO, J.; BOND, W.; GONZÁLEZ, M. E. 2020. Wildfire management in Europe: paradigm shift needed in wildfire risk governance. *Landscape and Urban Planning* 195:103733.

MORITZ, M.; BATLLORI, E.; BRADSTOCK, R.; GILL, A.M.; HANDMER, J.; HESSBURG, P.; LEONARD, J.; MCCAFFREY, S.; ODION, D.; SCHOENNAGEL, T.; SYPHARD, A. 2014. Learning to coexist with wildfire. *Nature*. 515, 58-66.

OTERO, I.; CASTELLNOU, M.; GONZÁLEZ, I.; ARILLA, E.; CASTELL, L.; CASTELLVÍ, J.; SÁNCHEZ, F.; NIELSEN, J. 2018. Democratizing wildfire strategies. Do you realize what it means? Insights from a participatory process in the Montseny region (Catalonia, Spain). *PLoS ONE* 13(10).



PAUSAS, J.; KEELEY, J. 2019. Wildfire as an ecosystem service. *Frontiers in ecology*. 17(5), 289-295.

PIQUÉ, M.; VALOR, T.; CASTELLNOU, M.; PAGÈS, J.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M. 2011. Integració del risc de GIF en la gestió forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Generalitat de Catalunya.

QUÍLEZ, R. 2017. Nodos de propagación como fundamento de la prevención de grandes incendios en el siglo XXI. 7o Congreso Forestal Español. Plasència.

SCOTT, J.; BURGAN, R. 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models : A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-153, 72 pp.

TEDIM, F.; LEONE, V.; XANTHOPOULOS, G. 2016. A wildfire risk management concept based on a social-ecological approach in the European Union: Fire Smart Territory. 18 138-153.

TEDIM, F.; LEONE, V.; AMRAOUI, M.; BOUILLON, C.; COUGHLAN, M.; DELOGU, G.; FERNANDES, P.; FERREIRA, C.; MCCAFFREY, S.; MCGEE, T.; PARENTE, J.; PATON, D.; PEREIRA, M.; RIBEIRO, L.M.,; VIEGAS, D.X.,; XANTHOPOULOS. 2018. Defining extreme wildfire events: difficulties, challenges and impacts. *Fire* 1(1), 9.

UYTTEWAAL, K.; STOOF, C.; CANALETA, G.; CIFRE-SABATER, M.; LANGER, E.R.; LUDWIG, F.; KROEZE, C.; MORAN, P.; OTTOLINI, I.; PRAT-GUITART, N. 2024. Uplifting local ecological knowledge as part of adaptation pathways to wildfire risk reduction: a case study in Montseny, Catalonia (Spain). *Ambio*. 53, 1433-1453.