



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1300

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

Organiza





Priorización espacial de las zonas de gestión forestal para prevenir grandes incendios en Cataluña

KRSNIK, G. (1), BUSQUETS OLIVÉ, E. (1), PIQUÉ NICOLAU, M. (1), LARRAÑAGA, A. (2), TERÉS, J. (3), GARCIA-GONZALO, J. (1) y GONZÁLEZ OLABARRIA, J.R. (1)

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

(2) Bombers-Graf-Generalitat de Catalunya

(3) Servei de Prevenció d'incendis-Generalitat de Catalunya

Resumen

Los grandes incendios forestales son un problema ambiental común en la región mediterránea. Este estudio se centra en la prevención de incendios en Cataluña, donde se definieron 22 indicadores agrupados en 5 criterios para evaluar y priorizar zonas de gestión. Estos criterios incluyen peligro de combustible, comportamiento potencial del fuego, accesibilidad para la extinción, recursos valiosos en riesgo y datos históricos de incendios.

El proceso utilizó modelización geoespacial con un Sistema de Información Geográfica (SIG) y análisis de la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT), lo que permitió desarrollar reglas para una evaluación más estandarizada de las áreas prioritarias de gestión. Se aplicaron dos conjuntos de ponderaciones: uno basado en la evaluación de expertos y otro con ponderaciones iguales, revelando diferencias significativas entre ambos enfoques.

El estudio destaca la importancia de la planificación participativa en la priorización de áreas de gestión forestal para reducir los impactos de los incendios. Aunque los resultados son valiosos, el enfoque principal es el marco metodológico novedoso que combina modelización geoespacial, MAUT y talleres participativos para generar reglas de utilidad. Este enfoque aumenta la credibilidad y aceptación de la metodología al involucrar a los interesados en el proceso.

Palabras clave

análisis multicriterio, análisis participativo, prevención de incendios forestales, indicadores de incendios

1. Introducción

El fuego ha sido una característica destacada del paisaje mediterráneo, y España presenta la mayor frecuencia de incendios y la mayor extensión de áreas quemadas en la región (ANA CRISTINA GONÇALVES & ADÉLIA M.O. SOUSA, 2016). Aunque los incendios grandes son poco comunes, tienen graves consecuencias a nivel paisajístico, social y económico. La ocurrencia de incendios se ve influenciada por factores como el abandono de tierras, la acumulación de combustibles, la supresión de incendios y el cambio climático (SYPHARD et al., 2007).. Dada la incertidumbre en estos procesos, se requieren mejoras metodológicas y medidas preventivas (DUANE et al., 2015).



El análisis y la predicción de incendios son complejos debido a la interacción de diversos factores, como las condiciones meteorológicas, la topografía y las actividades humanas. En este contexto, es más efectivo asignar Zonas de Gestión Prioritaria que centrarse solo en la respuesta a grandes incendios. Este enfoque, basado en el marco MASS (Áreas de Gestión para Apoyo a la Supresión de Incendios), considera las características del paisaje, el potencial de incendios y los datos históricos para gestionar los recursos de manera eficiente (RODRIGUES et al., 2022).

La planificación estratégica y táctica juega un papel clave en la gestión de incendios forestales. La planificación estratégica establece prioridades para los tratamientos silviculturales, mientras que la táctica optimiza las acciones de gestión en las áreas seleccionadas, minimizando riesgos y costos (GONZALEZ-OLABARRIA et al., 2019). Cuando se combinan con la gestión de combustibles, estas acciones permiten confinar los incendios de manera más efectiva. Este enfoque es necesario debido a la falta de recursos económicos adecuados para la gestión de incendios y simplifica la asignación de zonas de gestión prioritaria para una planificación táctica subsecuente (KIRSCH & RIDEOUT, 2005).

Los indicadores del paisaje proporcionan información relevante para la planificación de combustibles (KOSMAS et al., 2014). La selección cuidadosa de criterios e indicadores adecuados es fundamental, ya que influye en los resultados de la evaluación ambiental (KURKA & BLACKWOOD, 2013). El análisis participativo mejora la validez de los indicadores seleccionados y fortalece la toma de decisiones. Este enfoque es crucial para definir las áreas prioritarias en la gestión de incendios, dada la complejidad del sistema ambiental.

La incorporación de dimensiones espaciales en el análisis multicriterio de medidas de prevención de incendios y la utilización de datos geoespaciales mejoran la toma de decisiones y permiten implementar acciones dirigidas a áreas específicas. El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos participativos muestra ser eficaz en la planificación de combustibles forestales (GIGOVIC et al., 2018; SAKELLARIOU et al., 2020).

2. Objetivos

Este estudio se centra en la selección de indicadores y criterios para priorizar zonas de gestión en Cataluña, España, con el objetivo de prevenir grandes incendios forestales. Se utilizó la Teoría de Utilidad Multi-Atributo (MAUT) junto con SIG. La planificación participativa, basada en el conocimiento experto, definió los indicadores y criterios pertinentes para la asignación de Zonas de Gestión Prioritaria, lo que facilitó la identificación de las áreas prioritarias y optimizó la asignación de recursos para la prevención de incendios (ROE, 2012).

3. Metodología

Nuestra investigación se realizó en Cataluña (noreste de España), donde aproximadamente el 42% de los 32.000 km² de superficie está cubierto por bosques

(Figura 1). De esta área forestal, el 75% es de propiedad privada, lo que dificulta una gestión forestal efectiva debido a la fragmentación. La región presenta una variada orografía, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta más de 3000 metros, lo que influye en el clima y el comportamiento del fuego. En los últimos 30 años, se han registrado más de 21.686 incendios en Cataluña, quemando unas 265.000 hectáreas. Para definir las unidades de gestión y calcular las métricas necesarias, utilizamos información del Mapa Forestal Español a escala 1:25.000, empleando 238.096 polígonos para el análisis MAUT.



Figura 1. Área de estudio

El objetivo principal de la investigación es definir Zonas de Gestión Prioritaria para prevenir grandes incendios forestales mediante representación cartográfica. El proyecto se desarrolló en tres fases:

1. Se analizó la disponibilidad de datos para identificar los indicadores y criterios que afectan el comportamiento del fuego y la priorización de medidas de prevención.
2. Se realizó un análisis MAUT, normalizando los datos y asignando ponderaciones a los indicadores y criterios mediante planificación participativa.
3. Finalmente, se generaron mapas que cuantifican la priorización de medidas de gestión para la prevención de incendios, combinando los datos normalizados y los criterios ponderados.

La etapa inicial del análisis de riesgo de incendios forestales consistió en establecer indicadores y criterios que influyen en las medidas de prevención. Se definieron 22 indicadores, agrupados en 5 categorías, para capturar procesos biogeofísicos, comportamiento del fuego, capacidad de extinción, riesgo de exposición y datos

históricos. Se utilizó un proceso participativo con expertos para seleccionar y verificar los datos adecuados. Se emplearon herramientas como ArcGIS y simulaciones con FlamMap para definir los umbrales y obtener los indicadores del comportamiento del fuego (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios e indicadores seleccionados para definir áreas prioritarias de gestión

CRITERIOS E INDICADORES	DESCRIPCIÓN	UMBRAL APLICADO Y/O UNIDAD
Combustible (C1)		
Altura base de la copa (I1)	% del área del rodal con valores por debajo del umbral establecido	5,5 m
Cobertura de las copas (I2)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	50%
Densidad de la copa (I3)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	0,15 km/m ³
Cobertura de sotobosque (I4)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	30%
Continuidad vertical (I5)	% del área del rodal con valores por debajo del umbral establecido	5 m
Comportamiento del fuego (C2)		
Intensidad del fuego (I6)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	350 Kw/m
Velocidad de propagación (I7)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	1,2 km/h; 0,33 m/s
Altura de las llamas (I8)	% del área del rodal con valores por encima del umbral establecido	3 m
Exposición (C3)		
Áreas urbanizadas (I9)	Distancia al área urbanizada más cercana desde el centroide de cada rodal	m
Áreas recreativas (I10)	Distancia al sendero homologado más cercano desde el centroide de cada rodal	m
Capitalización (I11)	Comparación entre el área basal media y el umbral establecido	40 m ² /ha
Naturaleza protegida (I12)	Distancia a las áreas clave de la red Natura 2000 más cercanas desde el centroide del rodal	m
Patrimonio cultural (I13)	Distancia al monumento arquitectónico, arqueológico o paleontológico más cercano	m
Infraestructuras estratégicas (I14)	Distancia a la línea eléctrica o autopista más cercana desde el centroide del rodal	m
Accesibilidad (C4)		
Orientación (I15)	Orientación del terreno	%
Densidad de caminos (I16)	Densidad de caminos y carreteras mayores de 2,5 m (apto para vehículos de extinción) por rodal	km/km ²
Distancia a caminos (I17)	Distancia al camino más cercano de más de 2,5 m (apto para vehículos de extinción)	m
Disponibilidad de agua (I18)	Distancia al cuerpo de agua o pozo más cercano con capacidad superior a 50 m ³	m



Áreas de gestión estratégica (I19)	Distancia al área clasificada como área de gestión estratégica más cercana	m
Continuidad (C5)		
Nivel de riesgo de incendio (I20)	Nivel de riesgo de incendio según características intrínsecas	Categorico 1-4
Áreas agroforestales (I21)	% de área agroforestal dentro de un buffer de 1 km desde el centroide de cada rodal	%
Periodo de retorno (I22)	Periodo de retorno en caso de incendio forestal	años

Tras definir los indicadores para la asignación de Zonas de Gestión Prioritaria, se realiza el análisis MAUT, que consiste en obtener funciones de utilidad y ponderaciones, y calcular las puntuaciones de utilidad globales a partir de un modelo jerárquico (Figura 2). En este modelo, los cinco criterios (C1 – C5) se desglosan en un conjunto de indicadores (I1 – I22), con un número que varía entre 3 y 6, dependiendo de la disponibilidad de datos espaciales. Los indicadores representan el nivel más bajo del modelo y, a través de funciones de membresía difusa, los datos se transforman en valores de utilidad entre 0 y 1. Estos valores cuantifican el nivel de apoyo para cada indicador, permiten normalizar y estandarizar los datos, y facilitan la comparación directa entre variables en todos los niveles del modelo jerárquico. Por ejemplo, áreas forestales cercanas a carreteras accesibles para bomberos recibirían valores de utilidad más altos, indicando menor riesgo de incendios grandes. Los umbrales para definir utilidad baja o alta se determinan mediante evaluación participativa, utilizando 22 funciones de membresía difusa distintas (Tabla 2). Las puntuaciones de utilidad asignadas a cada indicador se propagan hacia arriba en la jerarquía, hasta que todos los niveles del modelo obtienen sus respectivos valores de utilidad.

Tabla 2. Umbrales establecidos para la asignación de la utilidad

INDICADORES	UNIDAD	UMBRAL UTILIDAD 0	UMBRAL UTILIDAD 1
I1	%	30	60
I2	%	30	60
I3	%	30	70
I4	%	30	70
I5	%		25
I6	%	10	50
I7	%	10	50
I8	%	10	50
I9	metros		7500

I10	metros	1000	
I11	m ² /ha	40	
I12	metros	1500	250
I13	metros	5000	250
I14	metros	2500	
I15	%	45	5
I16	km/km ²	180	90
I17	metros	1000	150
I18	metros	1200	
I19	metros	175000	1300
I20	Cat. 1-4	1=0; 2=0.33; 3=0.66; 4=1	
I21	%	80	20
I22	años	500=0; 100=0.5; 30=1	

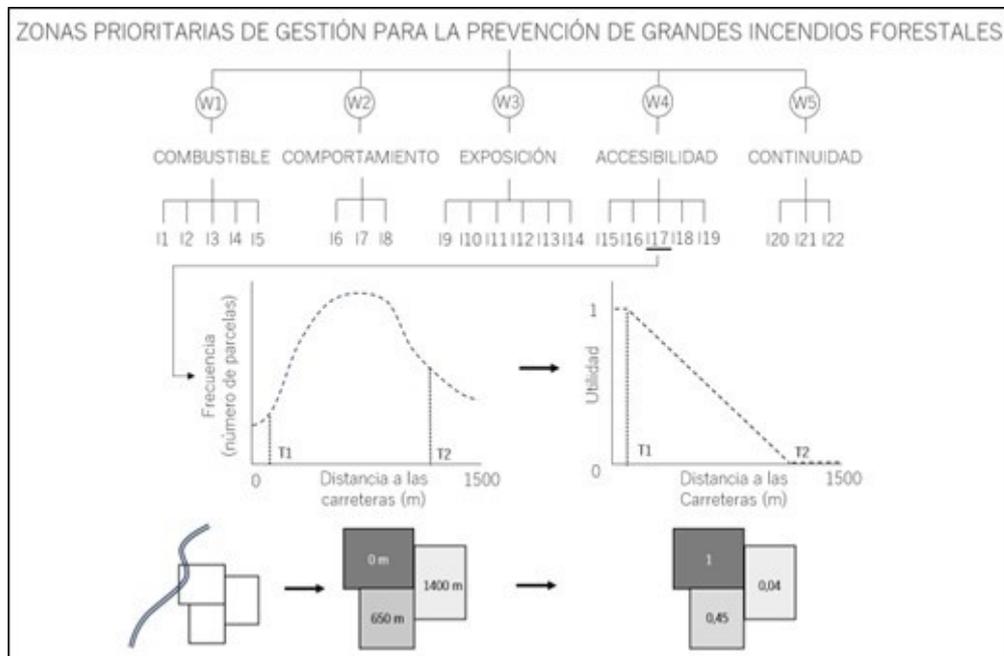


Figura 2. Diseño esquemático del modelo y la utilidad

La importancia de cada indicador en la definición de los criterios se indica mediante ponderaciones fijas, asignadas a través de una evaluación colectiva de



expertos mediante un análisis basado en el proceso de jerarquía analítica (AHP). En este análisis, cada indicador se comparó con todos los demás dentro del mismo grupo de criterios para obtener ponderaciones preliminares. También se asignó una ponderación a cada criterio (W1-W5). Las ponderaciones designan la importancia relativa de cada criterio para la asignación de Zonas de Gestión Prioritaria. Las ponderaciones utilizadas en este estudio son preliminares y están sujetas a cambios. Son subjetivas y dependen del territorio; por lo tanto, se presentan en la sección de Resultados.

La representación cartográfica de las Zonas de Gestión Prioritaria contra incendios se basa en los valores de utilidad asignados a la unidad jerárquica más alta del modelo. Se crearon dos mapas con diferentes enfoques en la asignación de ponderaciones a los criterios. A cada uno de los 238.096 polígonos se le asignó un valor de utilidad, reflejando el nivel de prioridad de gestión. Para la representación, se definieron 7 categorías de prioridad utilizando un método de separación basado en intervalos iguales (percentil 14), con ajustes posibles según los objetivos de la investigación.

4. Resultados

Este artículo describe la base metodológica para una mejor asignación de Zonas de Gestión Prioritaria para mitigar grandes incendios forestales. El marco incluye una evaluación participativa para seleccionar indicadores relevantes, organizados en criterios que ofrecen información espacial clave para definir las zonas. Las ponderaciones se determinan mediante una evaluación participativa de expertos. El modelado se realiza con un enfoque basado en funciones de utilidad, permitiendo análisis espaciales complejos y orientados a soluciones (Figura 3). Se presentan resultados preliminares para validar el enfoque propuesto.

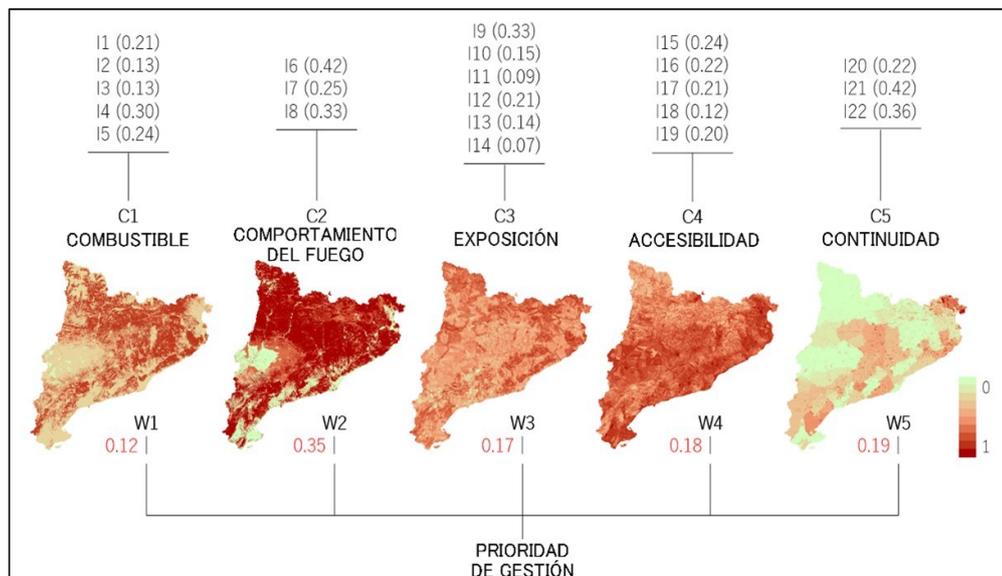


Figura 3. Diseño esquemático del proceso de modelado con los pesos aplicados a los indicadores y criterios, y la representación cartográfica de los criterios.



La distribución geoespacial de las puntuaciones de utilidad para los 5 criterios muestra patrones distintos. El comportamiento del fuego tiene altos valores en gran parte del territorio, mientras que las áreas agrícolas y urbanas tienen puntuaciones más bajas. Los criterios de peligro de combustible y exposición tienen puntuaciones altas en el norte y las zonas costeras, con diferencias notables entre ambos. Los valores de accesibilidad son más bajos en las regiones montañosas del norte y la zona pre-costera. Finalmente, los valores de continuidad son bajos, excepto en el extremo noreste del territorio.

Las zonas de muy alta prioridad tienen una cobertura espacial limitada, situándose en los sectores noreste y costero central de la región de estudio, y están aisladas entre sí. Las zonas de alta prioridad se encuentran en la sección central de Cataluña, extendiéndose hacia las áreas costeras y pre-costeras, y cubren una porción considerable del área de estudio. Estas zonas muestran altos valores de utilidad para la mayoría de los criterios, siendo la exposición el que presenta puntuaciones más bajas. En la mitad norte del área, prevalecen zonas de prioridad media-alta, especialmente en el Prepirineo y Pirineos, caracterizadas por altos niveles de peligro de combustible, comportamiento del fuego y exposición, y valores bajos de accesibilidad y continuidad. Las zonas de prioridad baja y muy baja se superponen principalmente con áreas urbanizadas, industrializadas y agrícolas, y suelen registrar altos valores de accesibilidad. (Figura 4).

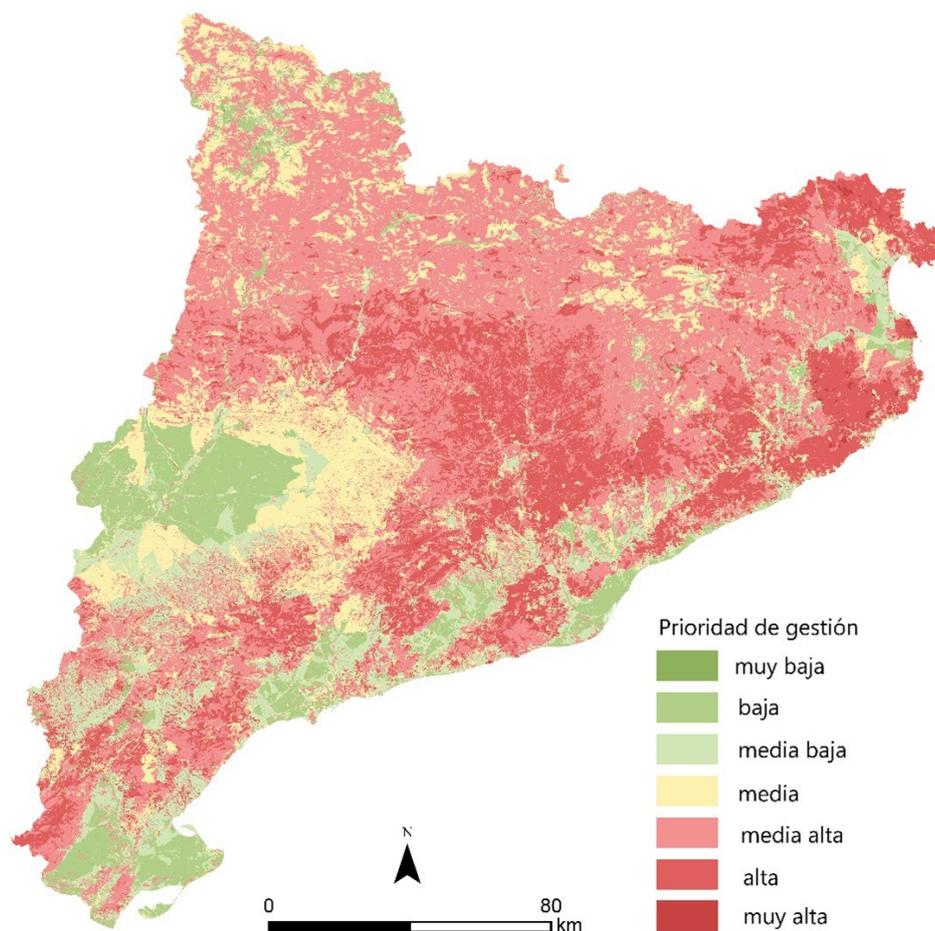


Figura 4. Representación cartográfica de los niveles de la prioridad de gestión

5. Discusión

En esta investigación, nos encargamos de seleccionar y parametrizar indicadores y criterios para priorizar las zonas de gestión con el objetivo de mitigar los grandes incendios forestales en la región de Cataluña, España. Ante la falta de consenso sobre cuáles son los indicadores más efectivos para modelar y mapear las áreas prioritarias para la gestión forestal, el objetivo fue desarrollar un modelo espacial que integrara todos los factores relevantes para proporcionar una representación biogeofísica completa del territorio. Dada la disponibilidad limitada de datos espaciales, se presentó el desafío de identificar todos los indicadores pertinentes, lo que llevó a una representación incompleta de la realidad geoespacial. Para abordar este desafío, adoptamos un enfoque interdisciplinario que combinó la evaluación participativa de expertos en incendios forestales y gestión forestal, con un marco científico riguroso para asegurar la inclusión del máximo número posible de indicadores. El resultado fue una base de datos confiable que permitió realizar una evaluación exhaustiva de las zonas de gestión prioritarias (CHUVIECO, 2009; TÀBARA et al., 2003).

El uso del marco MAUT (Multiple-Attribute Utility Theory) facilitó la consecución de nuestros objetivos y permitió un análisis flexible y adecuado para la toma de decisiones complejas, adaptado a las necesidades de la investigación. Este enfoque



metodológico demostró ser eficaz al permitirnos evaluar diferentes criterios y aplicar pesos adecuados a cada uno, lo que resultó en un modelo que facilita la asignación de zonas de gestión prioritarias.

La evaluación participativa fue fundamental en este proceso, no solo para establecer los indicadores, sino también para asignar los pesos tanto a los indicadores individuales como a los criterios en su conjunto. El estudio pone de manifiesto la importancia de considerar la evaluación participativa en la gestión de incendios forestales, ya que puede influir sustancialmente en las decisiones sobre las zonas que deben recibir mayor atención (PERERA et al., 2014; YATHISH et al., 2019).

El análisis de los resultados indicó que la interpretación de los datos depende fuertemente de los pesos asignados a cada criterio y de la selección de los mismos. Las zonas de mayor prioridad en el norte de Cataluña están asociadas con áreas secas que experimentan vientos fuertes del norte y que tienen una presencia significativa de combustible forestal continuo. También se observó que las zonas costeras centrales tienen una alta prioridad debido a su densidad poblacional y la existencia de infraestructuras críticas. La combinación de estos factores incrementa el riesgo de incendios graves, lo que justifica su clasificación como zonas de gestión prioritaria.

6. Conclusiones

En conclusión, el estudio demuestra cómo el modelado espacial y el análisis MAUT pueden ser herramientas eficaces para asignar prioridades de gestión en áreas susceptibles a incendios forestales. Destaca la importancia de las evaluaciones participativas en la toma de decisiones relacionadas con la prevención de incendios. El marco metodológico propuesto tiene el potencial de ser aplicado en otras regiones y proporciona una base sólida y objetiva para la gestión de incendios forestales, permitiendo a los gestores tomar decisiones informadas y adaptadas a las condiciones locales.

Este estudio buscó definir y parametrizar indicadores y criterios para priorizar áreas de gestión forestal y prevenir grandes incendios en Cataluña. Se definieron 22 indicadores agrupados en 5 criterios. Se aplicaron modelado espacial y análisis MAUT para evaluar la susceptibilidad al fuego, sirviendo de base para asignar prioridades de gestión. Los resultados subrayan la necesidad de estrategias de gestión adaptadas para reducir incendios forestales en la región mediterránea.

7. Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a todos los colaboradores y expertos que participaron en este proyecto: Marc Castellnou (UT-GRAF, DGPEISGRAF, Generalitat de Catalunya), Carlos San Román (Servei de Gestió Forestal, Generalitat de Catalunya), Carles Furriol (Servei de Gestió Forestal, Generalitat de Catalunya), y Esteve Canyameres (Servei de Prevenció d'Incendis Forestals, Generalitat de Catalunya); así como a Ameenat Kehinde por el proceso de simulación de incendios.



8. Bibliografía

- ANA CRISTINA GONÇALVES; ADÉLIA M.O. SOUSA.; 2016. The Fire in the Mediterranean Region: A Case Study of Forest Fires in Portugal. In *Mediterranean Identities* (pp. 305–355). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/66587>
- CHUVIECO, E.; 2009. Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*, 1–257. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4>
- DUANE, A.; PIQUÉ, M.; CASTELLNOU, M.; BROTONS, L.; 2015. Predictive modelling of fire occurrences from different fire spread patterns in Mediterranean landscapes. *International Journal of Wildland Fire*, 24(3), 407–418. <https://doi.org/10.1071/WF14040>
- GIGOVIĆ, L.; JAKOVLJEVIĆ, G.; SEKULOVIĆ, D.; REGODIĆ, M.; 2018. GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. *Tehnicki Vjesnik*, 25(3), 891–897. <https://doi.org/10.17559/TV-20151230211722>
- GONZALEZ-OLABARRIA, J. R.; REYNOLDS, K. M.; LARRAÑAGA, A.; GARCIA-GONZALO, J.; BUSQUETS, E.; PIQUE, M.; 2019. Strategic and tactical planning to improve suppression efforts against large forest fires in the Catalonia region of Spain. *Forest Ecology and Management*, 432(September 2018), 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.039>
- KIRSCH, A. G.; RIDEOUT, D. B.; 2005. Optimizing initial attack effectiveness by using performance measures. *USDA Forest Service - General Technical Report PNW*, 656, 183–187.
- KOSMAS, C.; KAIRIS, O.; KARAVITIS, C.; RITSEMA, C.; SALVATI, L.; ACIKALIN, S.; ALCALÁ, M.; ALFAMA, P.; ATLHOPHENG, J.; BARRERA, J.; BELGACEM, A.; SOLÉ-BENET, A.; BRITO, J.; CHAKER, M.; CHANDA, R.; COELHO, C.; DARKOH, M.; DIAMANTIS, I.; ERMOLAEVA, O.; ... ZIOGAS, A.; 2014. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Methodological Approach. *Environmental Management*, 54(5), 951–970. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0109-6>
- KURKA, T.; BLACKWOOD, D.; 2013. Participatory selection of sustainability criteria and indicators for bioenergy developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.062>
- PERERA, A. H.; JOHNSON, C. J.; DREW, C. A.; 2014. Expert knowledge and its application in landscape ecology. *Expert Knowledge and Its Application in Landscape Ecology*, 1–307. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1034-8>
- RODRIGUES, M.; ZÚÑIGA-ANTÓN, M.; ALCASENA, F.; GELABERT, P.; VEGA-GARCIA, C.; 2022. Integrating geospatial wildfire models to delineate landscape management zones and inform decision-making in Mediterranean areas. *Safety Science*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105616>
- ROE, S.; 2012. Spatial prioritisation of REDD+ sites in the Philippines. *May*, 36.
- SAKELLARIOU, S.; SAMARA, F.; TAMPEKIS, S.; SFOUGARIS, A.; CHRISTOPOULOU, O.; 2020. Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the active forest-urban fires management through location planning of mobile fire units. *Environmental Hazards*, 19(2), 131–151. <https://doi.org/10.1080/17477891.2019.1628696>
- SYPHARD, A. D.; RADELOFF, V. C.; KEELEY, J. E.; HAWBAKER, T. J.; CLAYTON, M. K.; STEWART, S. I.; HAMMER, R. B.; 2007. Human influence on California fire regimes. *Ecological Applications*, 17(5), 1388–1402. <https://doi.org/10.1890/06-1128.1>
- TÀBARA, D.; SAURÍ, D.; CERDAN, R.; 2003. Forest fire risk management and public



participation in changing socioenvironmental conditions: A case study in a Mediterranean region. *Risk Analysis*, 23(2), 249–260. <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00305>

YATHISH, H.; ATHIRA, K. V.; PREETHI, K.; PRUTHVIRAJ, U.; SHETTY, A.; 2019. A Comparative Analysis of Forest Fire Risk Zone Mapping Methods with Expert Knowledge. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(12), 2047–2060. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01047-w>