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

9CFE-2057

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

Organiza

Enfoque multi-criterio participativo para detectar áreas de alta prioridad de gestión de combustibles que ayuden en las labores de extinción de incendios: Una aplicación en Portugal

RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, S. (1), REYNODLS, K.M. (2), MURPHY, P.J. (3), GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R. (4), POUDEL, S. (1), BORGES, J.G. (1).

(1) Forest Research Center and Laboratory Terra, School of Agriculture, University of Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

(2) US Department of Agriculture, Forest Service Research, 3200 SW Jefferson Way, Corvallis, OR 97331, USA

(3) InfoHarvest, Inc., Seattle, WA 98165, USA

(4) Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC), Ctra Sant Llorenç de Morunys, km 2, Solsona, Lleida 25280, España

Resumen

La gravedad de los incendios forestales está aumentando en Europa y, tanto España como Portugal, se encuentran entre los países más afectados. Algunos factores no pueden modificarse, pero otros que afectan a las consecuencias, como la gestión forestal, sí pueden abordarse. Este estudio tuvo como objetivo diseñar una red de zonas prioritarias para la gestión de combustibles forestales que mejore la seguridad, eficiencia y eficacia en la extinción de incendios. Vale do Sousa, en Portugal, fue el área de estudio elegida. La metodología combinó un análisis participativo de decisiones multicriterio con el proceso de jerarquía analítica basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el sistema de Soporte de Decisiones para la Gestión de Ecosistemas (EMDS). Se identificaron y seleccionaron actores clave de diferentes organizaciones directamente vinculadas con el territorio. Éstos participaron en la definición de criterios, subcriterios mensurables, ponderaciones y pesos de importancia. El software Criterium Decision Plus y EMDS, integrado en ArcGIS Pro, se utilizaron para procesar el modelo y generar mapas de prioridad. Estos mapas servirán como punto de partida para definir un plan de gestión de combustibles, dirigiendo recursos a las zonas donde las acciones maximicen los resultados.

Palabras clave

Sistemas de apoyo a la decisión, análisis de decisión multicriterio, proceso de jerarquía analítica, planificación participativa, gestión forestal.

1. Introducción

Cada año se registran alrededor de 2 millones de incendios forestales en todo el mundo y, aunque la mayoría de ellos son pequeños en términos de área ardida, hay un crecimiento significativo en el número de ocurrencias de eventos extremos de incendios forestales (EWE) (Tedim et al., 2018). En Portugal, el impacto negativo de los mismos en los aspectos ambientales, sociales y económicos ha aumentado

históricamente (Marques et al., 2011). El país presenta la mayor tasa de ignición y densidad de superficie quemada entre las regiones del sur de Europa (Fernández-Guisuraga et al., 2023). De hecho, España y Portugal (Península Ibérica) concentran el 50% de todos los incendios registrados en Europa (Kraus et al., 2022). Esta tendencia exige enfoques innovadores para hacer frente a los incendios forestales que puedan tener en cuenta las perspectivas de prevención, supresión y restauración (McWethy et al., 2019).

La supresión es un componente crítico para abordar los regímenes de incendios, ya que la velocidad y la fuerza del ataque inicial pueden determinar si un incendio forestal se vuelve extremo (Kreider et al., 2024). Sin embargo, los estudios han demostrado que la eficiencia de los ataques iniciales depende de factores como las calificaciones de peligro de incendio, el peligro del combustible y el tipo de bosque (Fernandes et al., 2016). Cada vez se reconoce más que centrarse únicamente en la extinción de incendios desvía la atención de las medidas preventivas, lo que puede conducir a resultados infructuosos (Xanthopoulos et al., 2020). Las investigaciones sugieren que el aumento de los recursos de extinción de incendios no reduce significativamente el área quemada en grandes incendios forestales. En cambio, la prevención a través de la gestión del combustible puede conducir a una contención más rápida y a una identificación y examen más eficaces de las oportunidades de contención (Fernandes et al., 2016; Reis, 2016). Esto pone de manifiesto la necesidad de priorizar variables como la accesibilidad de la zona, la disponibilidad de recursos de extinción de incendios y diversos factores ambientales a la hora de definir estrategias de prevención que puedan facilitar la supresión (Vigna et al., 2021).

En este contexto, tanto González-Olabarria et al. (2019) como Krsnik et al. (2024) presentaron enfoques espaciales similares de Análisis de Decisión de Criterios Múltiples (MCDA) para priorizar las zonas de gestión forestal para prevenir grandes incendios en Cataluña, España. El MCDA se ha utilizado a menudo para apoyar la evaluación de múltiples objetivos y los diversos intereses de los diferentes actores (Marques et al., 2021). Para recabar la información necesaria de los actores para su posterior integración en el MCDA, se pueden utilizar diversas técnicas participativas, entre las que se encuentran los Grupos Focales (FG), talleres, entrevistas en profundidad, el método Delphi, cuestionarios, encuestas, informantes clave y matrices de consenso (Borges et al., 2017; Campbell, 2002; Marques et al., 2021; Martins y Borges, 2007; Nordström et al., 2010; Salter et al., 2010; Xavier et al., 2015). La literatura también reporta la experiencia del uso de cuestionarios y encuestas para realizar comparaciones de criterios por pares (Ananda y Herath, 2003; Kangas, 1994; Schmoldt, 2001; Vaidya y Kumar, 2006) en el marco de la aplicación del método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1980).

En Portugal, pocos estudios han combinado el MCDA con procesos participativos en la gestión forestal, y aún menos en la gestión de incendios forestales. Ejemplos notables incluyen a Xavier et al. (2015), quienes llevaron a cabo consultas con las partes interesadas para definir los criterios de ponderación para mitigar el riesgo de incendio en el Algarve, sur de Portugal; Borges et al. (2017), quienes utilizaron

talleres participativos junto con MCDA para la planificación de la provisión de servicios ecosistémicos; y Marques et al. (2021), quienes utilizaron mapeo cognitivo, cuestionarios multicriterio y la encuesta Delphi para la identificación y ponderación de criterios. Estos estudios subrayan el potencial de combinar el MCDA con técnicas participativas para incorporar diversas perspectivas de los interesados y mejorar el proceso de toma de decisiones.

Además, la integración de MCDA en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) mejora las estructuras de toma de decisiones al aprovechar las capacidades de mapeo, análisis y visualización espacial. Esta funcionalidad geográfica ofrece una ventaja significativa sobre los métodos tradicionales de MCDA (Malczewski et al., 2015; Uhde et al., 2015). Investigaciones previas han demostrado la eficacia de combinar el MCDA con los SIG en el marco de la planificación forestal (Takam et al., 2022; Gigović et al., 2018; Abedi Gheshlaghi et al., 2020). A pesar de estos avances, hay una notable ausencia de estudios que desarrollen un proceso participativo de MCDA basado en SIG específicamente para diseñar estrategias de prevención espacial que faciliten los esfuerzos de supresión de incendios forestales, con un detallado y estructurado proceso participativo.

La investigación realizada por González-Olabarria et al. (2019) y Krsnik et al. (2024) destacó el uso de enfoques espaciales de MCDA para priorizar las zonas de manejo forestal. Sin embargo, hasta donde sabemos, ningún estudio ha diseñado un proceso participativo completo que integre el MCDA basado en SIG para el diseño conjunto de una estrategia de prevención espacial que integre perspectivas de supresión de incendios forestales. Esta brecha indica la necesidad de contar con metodologías innovadoras que puedan abordar las complejidades y los desafíos asociados con la planificación conjunta de la gestión forestal, que a menudo implica negociaciones entre múltiples actores con diversos intereses.

2. Objetivos

Este estudio busca diseñar una estrategia que involucre a los propietarios de bosques locales, bomberos y otras partes interesadas para focalizar esfuerzos de gestión de combustibles que puedan favorecer en las labores de supresión de incendios. Específicamente, combina MCDA, SIG, AHP participativo, así como las funcionalidades de sistemas de apoyo a la decisión como son Criterium Decision Plus (CDP) (InfoHarvest, Seattle, WA, EE.UU.) y Ecosystem Management Decision Suport (EMDS) (Reynolds y Hessburg, 2014) para identificar áreas estratégicas prioritarias dentro de un paisaje gestionado conjuntamente de modo que las actividades de gestión forestal puedan mejorar la efectividad, la eficiencia y la seguridad de las operaciones de extinción de incendios durante un incendio forestal, impulsando así la prevención de incendios y facilitando los esfuerzos de extinción de incendios. Las funcionalidades de CDP, pueden ayudar a abordar problemas de inconsistencia relacionados con las preferencias de las partes interesadas al construir un modelo de árbol de decisión jerárquico (Reynolds et al., 2009; Abelson et al., 2021; González-Olabarria et al., 2019).

Se espera que la metodología innovadora propuesta en este estudio contribuya a mejorar la gestión de incendios forestales y su aceptación, así como maximizar la

utilidad de los recursos en áreas donde son limitados. Para ello, consideramos clave potenciar la integración de las diversas perspectivas de las partes interesadas, mejorar los procesos de toma de decisiones en las áreas de manejo conjunto y, en última instancia, reducir la ocurrencia y el impacto de eventos extremos de incendios forestales.

3. Metodología

Área de estudio

El área de estudio de caso para esta investigación es Vale do Sousa, ubicada en el noroeste de Portugal, aproximadamente a 50 km al Este de Oporto. Esta región se extiende sobre 28.941 hectáreas e incluye áreas de gestión colaborativa conjunta (ZIF): Entre-Douro-e-Sousa (al Norte del río Duero) y Paiva (al Sur del río Duero). El principal uso de la tierra en Vale do Sousa es la silvicultura. Las especies predominantes son el eucalipto y el pino marítimo (*Eucalyptus globulus* Labill y *Pinus pinaster* Ait) mientras que otras especies son el roble común, el castaño y el alcornoque (*Quercus robur* L, *Castanea sativa* Mill y *Quercus suber* L).

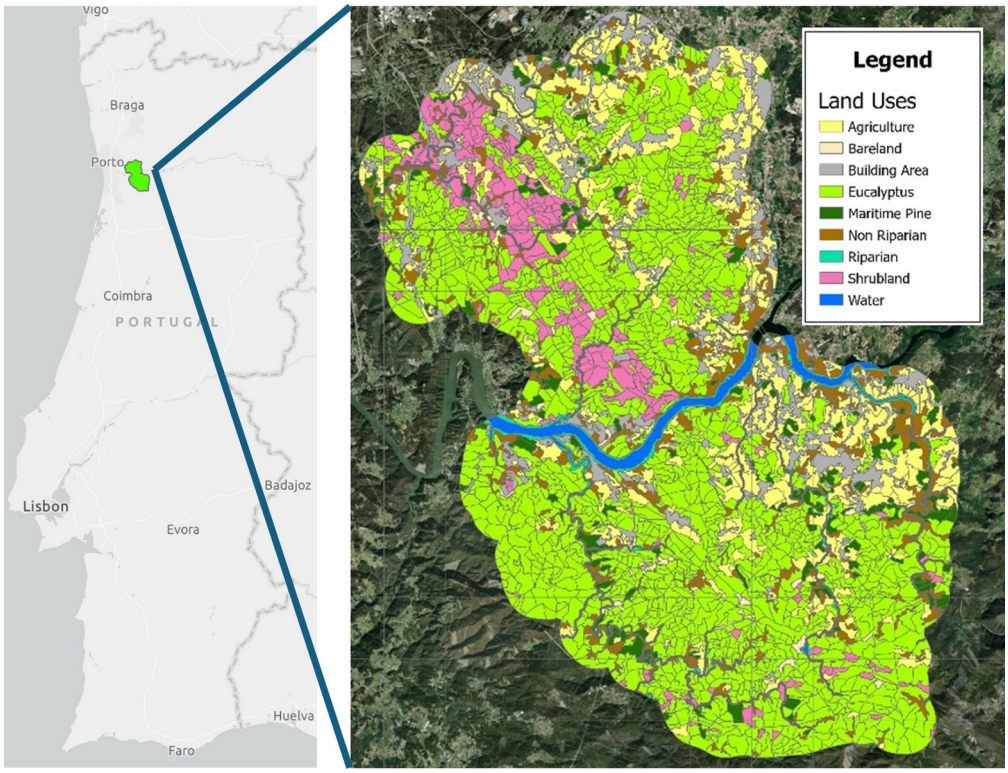

Figura 1. Área de estudio en Vale do Sousa (Portugal)

Vale do Sousa se ha enfrentado a importantes desafíos en materia de incendios forestales. Entre los más destacados se encuentran los de 2016, que quemó 2.923 hectáreas (10,1% de la superficie total), y en 2017, que quemó 7.428 hectáreas (25,7% de la superficie total); 15% y 39% de la superficie cubierta de árboles respectivamente. Estos incendios forestales recurrentes subrayan la necesidad de

una gestión forestal eficaz y estrategias de reducción del riesgo de incendios en la región.

La zona se caracteriza por una estructura de propiedad forestal fragmentada, en la que predominan las pequeñas explotaciones de propiedad privada. El área cuenta con más de 360 propietarios forestales como miembros de las ZIF. Estudios previos (Borges et al., 2017; Marques et al., 2021) han puesto de manifiesto un fuerte interés de las partes interesadas en la reducción del riesgo de incendios forestales, lo que convierte a Vale do Sousa en un lugar ideal para esta investigación. Los stakeholders locales incluyen un grupo diverso de actores con intereses y objetivos variados, que van desde la producción de madera hasta la reducción del riesgo de incendios forestales. Esta propiedad fragmentada y la diversidad de intereses complican la gestión del monte y requieren enfoques colaborativos.

Para hacer frente a estos desafíos, hace 29 años se creó la asociación forestal 'Associação Florestal do Vale do Sousa' (AFVS), que lidera el desarrollo de planes de gestión forestal en un contexto complejo de toma de decisiones. Esta investigación aprovechó la existencia de una Comunidad de Innovación en Incendios Forestales (CWI, por sus siglas en inglés) que incluye un grupo diverso de partes interesadas con representantes de las dos brigadas locales de bomberos de la AFVS, ocho municipios, ONG, industria forestal, gobierno y organizaciones no gubernamentales (D9.4 Informe Periódico Técnico 1, Proyecto FIRE-RES).

Proceso participativo

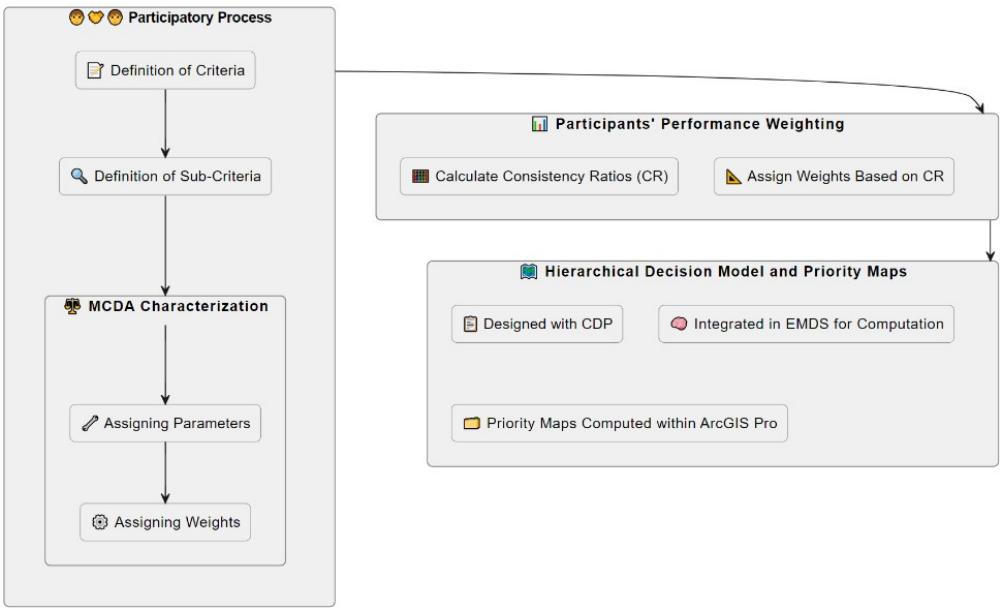

Figura 2. Diagrama de flujo que describe los pasos del estudio

Definición de criterios y subcriterios

Se utilizó un enfoque sistemático para identificar e involucrar a un grupo confiable y heterogéneo de stakeholders clave en la prevención, supresión y gestión forestal de incendios del CWI de Vale do Sousa. En primer lugar, se empleó una técnica de muestreo de bola de nieve. Se pidió a una persona conocedora y familiarizada con el área de estudio que recomendara a otros posibles participantes que pudieran contribuir valiosamente a la investigación, aprovechando su experiencia y sus redes (Atkinson y Flint, 2001).

Las partes interesadas seleccionadas fueron contactadas por correo electrónico, recibiendo una explicación detallada de los objetivos del estudio y la importancia de su participación. El correo electrónico describía lo que se requeriría, incluida la participación en encuestas en línea y sesiones de grupos focales (FG) en persona, junto con las fechas y plazos aproximados para estas actividades. Una comunicación clara garantizó que los participantes estuvieran plenamente informados y pudieran comprometerse con el cronograma y los requisitos del estudio (Figura 2).

Una vez identificados los actores, la primera interacción tuvo lugar a través de una encuesta online enviada como archivo adjunto al correo electrónico de contacto inicial. La encuesta se realizó a través de la plataforma 'Google Forms'. Además de su naturaleza de código abierto, se eligió debido a su facilidad de uso con diferentes dispositivos electrónicos. Además, se incluyó un video para apoyar la participación de los actores. La encuesta incluyó cuatro preguntas principales de respuesta obligatoria, cada una relacionada con el acuerdo o desacuerdo con los cuatro criterios propuestos. Los participantes solo debían responder con "Sí" o "No" en esta sección. Si la respuesta era positiva, se dirigía al encuestado a una subpregunta relativa a la obtención de otros subcriterios para ese criterio específico. En esta pregunta, se pidió al encuestado que marcara los subcriterios que considerara relevantes, con la opción de sugerir otros nuevos, siempre dejando claro que su uso dependería de la disponibilidad de datos espaciales y de la discusión consensuada de estas nuevas propuestas en la siguiente fase de interacción. Una sección final informó a los participantes sobre las próximas interacciones, explicando el FG, cómo debían prepararse para él y qué temas cubriría. La encuesta concluyó con una pregunta sobre su disponibilidad para participar en el FG durante una semana específica y un mensaje de agradecimiento. Los participantes tenían hasta 7 días hábiles para responder a la encuesta, que podía completarse en un mínimo de 15 minutos. Para garantizar la máxima participación, se envió un correo electrónico de recordatorio a las partes interesadas que aún no habían respondido tres días antes de la fecha límite de la encuesta.

Caracterización del MCDA (parámetros y ponderaciones)

La definición de los parámetros de subcriterios se construyó a partir de un FG. Por parámetros nos referimos a los valores para los cuales la utilidad de un subcriterio toma valores máximos o mínimos. Es decir, límites inferior y superior,

que especifican a partir de qué valor de un determinado subcriterio, su prioridad de gestión es máxima y viceversa. La discusión del FG se llevó a cabo durante un período de 2 horas en una sala de reuniones de Penafiel (Vale do Sousa). El investigador principal actuó como facilitador y contó con el apoyo de un actor local. En primer lugar, se presentaron los resultados de la encuesta online realizada unas semanas antes. Después, se discutió la lista de criterios y subcriterios. A continuación, se mostraron los subcriterios para destacar un rango de muestra de los valores existentes. Por último, cada participante tuvo la oportunidad de compartir sus opiniones y experiencias profesionales, que fueron fundamentales para la asignación de los parámetros de cada subcriterio.

El paso final del proceso participativo consistió en asignar niveles de importancia a cada criterio y subcriterio utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1980). Esto se logró en la última etapa del FG por dos razones principales: para evitar sobrecargar a los participantes con otra encuesta en línea y para permitir la aclaración inmediata de cualquier duda sobre el método de comparación por pares por parte del facilitador. Los participantes utilizaron la técnica de comparación por pares (Saaty, 1980) para clasificar la importancia de cada criterio frente a los demás en una escala de 1 a 9, donde 1 indica igual importancia y 9 indica una diferencia absoluta de prioridad (Saaty, 1980). El mismo proceso se aplicó a los subcriterios dentro de cada criterio. Esto influyó para desarrollar la matriz de comparación por pares, normalizar los pesos y calcular la relación de consistencia (RC) para cada participante.

Ponderación de la consistencia de los participantes

La ponderación del desempeño de los participantes es fundamental para garantizar la confiabilidad y validez del proceso participativo. Los valores de RC en un modelo AHP expresan la consistencia general en un conjunto de comparaciones por pares entre criterios (con respecto al objetivo del estudio) o entre subcriterios con respecto a su criterio respectivo (Saaty, 1980). Un valor de RC se considera aceptable si está ≤ 0,10, y los valores superiores a 0,10 indican una consistencia progresivamente peor en el conjunto de comparaciones. Los valores altos de RC en las respuestas de los participantes pueden surgir por varias razones, incluida la falta de experiencia en el tema específico o la falta de comprensión del proceso de comparación por pares.

Para abordar las inconsistencias de los participantes, se adoptó el método sugerido por Srđević et al. (2008). Este método asigna ponderaciones a los participantes en función de la normalización de los valores recíprocos de sus puntuaciones de RC. De este modo, los participantes con mayor consistencia ejercen una mayor influencia en los resultados finales agregados, mientras que los que tienen mayores inconsistencias se ponderan proporcionalmente a la baja.

El cálculo de las ponderaciones para cada participante (W_n) en función de su relación de consistencia (CR_n) se describe en la siguiente ecuación:

$$w_n = \frac{\frac{1}{CR_n}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{CR_i}}$$

Donde:

W_n = Peso asignado al participante 'n'

CR_n = Relación de consistencia del participante 'n'

N = Número total de participantes

Para garantizar la equidad, los resultados de los participantes se evaluaron por separado para las fases de criterios y subcriterios del proceso de AHP. Se asignaron ponderaciones específicas de cada fase, de modo que un participante que demostrara una gran coherencia en la fase de ponderación de los criterios no fuera penalizado innecesariamente por posibles incoherencias en la fase de subcriterios, o viceversa. Este enfoque de ponderación adaptativa permitió una consideración precisa de la experiencia y el desempeño individuales en las diferentes etapas del proceso de evaluación.

Al incorporar este método, el modelo MCDA pretendía lograr una agregación equilibrada y representativa de las aportaciones de los participantes, mejorando la solidez y fiabilidad de los resultados finales de la priorización.

Modelo de decisión jerárquica y mapas de prioridad

El trabajo de procesamiento de datos espaciales aprovechó las funcionalidades de los SIG y los Sistemas de Apoyo a la Decisión (DSS). La adquisición de datos implicó un inventario de campo forestal e información espacial disponible públicamente para la clasificación de Vale do Sousa en unidades de gestión forestal. Las variables biométricas se procesaron mediante las funcionalidades de crecimiento y rendimiento del DSS (Nunes et al. 2022). Además, se utilizó el software 'FlamMap' (Finney, 2006) para estimar variables de comportamiento del fuego utilizando la información biométrica disponible, las direcciones predominantes del viento y el modelo de combustible portugués (Fernandes et al., 2009). Se utilizó el software de apoyo a la decisión CDP para construir un modelo jerárquico para caracterizar el problema y la estructura de su solución. El software facilitó la estructuración del modelo mediante la organización del objetivo general del estudio, los niveles de criterios y subcriterios, las alternativas y las ponderaciones de desempeño de los participantes. Este enfoque garantizó que las preferencias de cada participante se reflejaran en el modelo, en lugar de simplemente promediar las preferencias del grupo. Este modelo fue procesado por el sistema EMDS integrado en ArcGIS Pro (Reynolds et al., 2023). Se utilizó EMDS para procesar el modelo CDP y generar los mapas de prioridad por criterio y el mapa final combinando todos los criterios.

El método de visualización elegido para estos mapas utilizó cinco intervalos iguales, que abarcan los valores de prioridad mínimo ('Muy bajo') a máximo ('Muy alto') asignados a las unidades de gestión. Cada clase representa un rango de datos constante, lo que garantiza una interpretación sencilla y coherente de las prioridades (Milic et al., 2019).

Además, se elaboraron mapas representativos de cada uno de los 17 subcriterios incluidos en el estudio.. La visualización de estos mapas se realizó utilizando el algoritmo Jenks Natural Breaks, que crea cortes de clase que agrupan valores similares mientras maximizan las diferencias entre clases. Este método mejora la visualización al evitar distribuciones de clases poco realistas causadas por valores extremos en el conjunto de datos (Chen et al., 2013).

4. Resultados

Definición de criterios y subcriterios

Un total de 22 fueron contactadas, de las cuales 19 participaron finalmente en la primera etapa del estudio. Los participantes representaban a una amplia gama de entidades, entre ellas cuatro ayuntamientos, la Guardia Nacional Republicana, dos organismos públicos responsables de la protección del medio ambiente, una empresa especializada en la protección contra incendios forestales y la extinción de incendios rurales, dos empresas de celulosa y papel, una empresa responsable de las líneas de alta tensión, dos asociaciones forestales locales, tres organizaciones locales de extinción de incendios y la Autoridad Nacional de Emergencia y Protección Civil. Se evaluaron las respuestas de los 19 participantes y se seleccionaron los criterios y subcriterios finales descritos en la metodología.

Los criterios están compuestos por 4 grupos, originarios de los inicialmente propuestos, todos los cuales fueron aceptados por los encuestados en la primera encuesta. Se seleccionaron un total de 17 subcriterios medibles, reducidos de los 22 propuestos originalmente. Si bien las partes interesadas eliminaron algunos subcriterios, se agregaron otros en base a las sugerencias de los expertos, como el indicador de resistencia a los incendios forestales y la biomasa arbustiva. Estos nuevos subcriterios se analizaron y se discutieron durante la reunión del FG y finalmente se incluyeron en el estudio una vez que se determinó que se podían obtener datos espaciales para caracterizarlos.

El criterio ‘Combustibles’ evalúa el estado de la vegetación de la zona mediante el análisis de los subcriterios elegidos. Comprender la condición actual de la vegetación, específicamente aquellas variables que pueden ser modificadas por acciones humanas (la cobertura del dosel o la altura de la base de la copa) permite un manejo efectivo. Para obtener los valores de los cinco subcriterios seleccionados se utilizaron un conjunto de estudios previos, software y modelos (Nunes et al., 2022; Faias et al., 2012; Gómez-García et al., 2016; Mönkkönen et al., 2014).

El criterio 'Potencial de incendios extremos' incorpora mapas del Instituto para la Conservación de la Naturaleza y los Bosques (ICNF) (ICNF, s.f.-b): 'Territorios con potencial de grandes incendios' (áreas de más de 500 hectáreas que no se han quemado durante más de 10 años en las clases de peligro 'Alto' o 'Muy Alto') y el 'Mapa de peligro a corto plazo de incendios rurales'. También incluye otros dos subcriterios: un mapa simulado de tasa de propagación utilizando el software FLAMMAP (Finney, 2006) y un mapa con la densidad poblacional por municipio (Eurostat 2021).

Los 'factores de supresión' se refieren a las características de una unidad de gestión que maximizarían la combinación de la accesibilidad, la disponibilidad de infraestructuras de supresión, las ubicaciones óptimas o las condiciones topográficas adecuadas. El subcriterio 'accesibilidad desde la red de caminos forestales' (ICNF, s.f.-a)., se refiere a la distancia que los bomberos tendrían que cubrir a pie para llegar a la zona desde sus vehículos. La pendiente (Agência para a Modernização Administrativa, s.f.), la distancia a los puntos de agua (ICNF, s.f.-a) y la proximidad a la red cortafuegos diseñada (ICNF, s.f.-a), también se incluyen en este criterio.

El criterio 'Vulnerabilidad' intenta identificar las áreas que están particularmente amenazadas por el fuego y que tienen un valor cultural, social o ambiental significativo. A menudo se hace referencia a ellos como valores altos en riesgo'. En concreto, los subcriterios incluyen las áreas urbanizadas (Direção-Geral do Território, 2020), que se centran en la protección de las personas y su infraestructura. Otro subcriterio se refiere a los corredores ecológicos de conservación (ICNF, s.f.-c.) que aborda los activos ambientales clave, y el 'Aspect' (Agência para a Modernização Administrativa, s.f.), que representa ubicaciones específicas en riesgo en función de su orientación. La inclusión del Aspect fue polémica durante el proceso participativo, y su pertinencia fue discutida durante el FG. Sin embargo, otros estudios relacionados han incorporado este tipo de subcriterios (Abedi Gheshlaghi, 2020; Arca et al., 2020; Gigović et al., 2018; Sivrikaya y Küçük, 2022; Van Hoang et al., 2020). El cuarto subcriterio se refiere a la resistencia del bosque al fuego cuando éste se produce, llamado Indicador de Resistencia a los Incendios Forestales (Ferreira et al., 2015).

Parámetros de los subcriterios

Durante el FG, 9 participantes que representaban a una variedad de organizaciones (incluidos municipios, bomberos, corporaciones públicas y empresas) se reunieron para discutir los criterios y subcriterios relevantes para el estudio.

Tabla 1. Criterios y subcriterios obtenidos y sus parámetros y unidades correspondientes

Criterios	Sub-criterios	Parametros	(min prior – max prior)	Unidad
Potencial para incendios extremos	Indicador de Resistencia al fuego	5 - 1	Clases (1-5)	
Tasa de propagación	2 – 6		m/min	
Mapa de peligrosidad	1 - 5		Clases (1-5)	
Mapa de potenciales grandes incendios	20 - 90		%	
Combustibles	Cubierta del dosel	20 - 60	%	
Biomasa superficial	5 - 300		tn/ha	
Rebrotadoras	90 - 10		%	
Biomasa de arbustos	1 - 10		m3/ha	
Altura de base de copa	4 – 2.5		m	
Factores de supresión	Accesible a camiones de bomberos	100 - 80	m	
Pendiente	40 - 5		%	
En contacto con cortafuegos	15 - 60		%	
Distancia a puntos de agua	1000 - 500		m	
Vulnerabilidad	Distancia a areas urbanas	300 - 50	m	
Aspect	1 - 4		Clases (1-4)	
Corredores ecologicos de conservación	20 - 60		%	
Densidad populacional	20 - 250		Personas/km2	

En el FG se asignaron la mayoría de los parámetros para los subcriterios y los restantes se determinaron considerando las características específicas del territorio de Vale do Sousa (Tabla 1). Para algunos subcriterios, solo se pudieron utilizar los valores existentes dentro del área de estudio para establecer los parámetros. Por ejemplo, en lo que respecta a la 'densidad de población', no tendría sentido aplicar parámetros basados en áreas con densidades de población significativamente más altas o más bajas. En cambio, los parámetros inferior y superior se establecieron de acuerdo con los valores observados dentro de esta área de estudio, lo que garantiza la pertinencia para el contexto local.

Es necesario explicar con más detalle la definición de ciertos parámetros de subcriterios. Por ejemplo, en el caso del subcriterio 'Aspect', los parámetros se expresan mediante clases basadas en la orientación de la pendiente en función de la prioridad asignada por los stakeholders, donde la Clase 1 representa el Norte, la

Clase 2 representa el Sur, la Clase 3 representa el Oeste y la Clase 4 representa el Este. Además, algunos subcriterios tienen parámetros expresados como porcentajes. Por ejemplo, 'En contacto con cortafuegos' se refiere al porcentaje de una unidad de gestión que se superpone con cortafuegos. Del mismo modo, para el subcriterio 'Resprouters', el parámetro representa el porcentaje de especies que rebrotan en relación con las que sólo nacen por semilla. Esta distinción es significativa, ya que se ha demostrado que la acumulación de biomasa después de la perturbación es más lenta en áreas donde el porcentaje de especies rebrotadas es mayor en comparación con las sembradoras (Botequim et al. 2015).

Ponderación de los criterios y subcriterios

Después del FG y la definición de los parámetros para los criterios y subcriterios, el paso que faltaba era asignar a cada uno de ellos un peso (relevancia o nivel de importancia). Dicha información se obtuvo a partir de una encuesta que contenía el AHP, recogida durante la última etapa del FG. Se recogieron las respuestas de 8 de los 9 participantes iniciales de FG y, en primer lugar, las respuestas fueron útiles para calcular el peso de cada participante en relación con su consistencia (Sección 3.4). Luego, se obtuvieron los pesos finales para el grupo general (Tabla 2 y Tabla 3).

Table 2. Ponderaciones de los criterios

Ponderaciones de criterios (0-1)			
Combustibles	Potencial para incendios extremos	Factores de supresión	Vulnerabilidad.
0.389	**0.36**	**0.068**	**0.183**

Table 3. Ponderaciones de los subcriterios

Criterios	Subcriterios	Ponderación	(0-1)
Potencial para incendios extremos	Indicador de Resistencia al fuego	0.072	
Tasa de propagación		0.464	
Mapa de peligrosidad		0.078	
Mapa de potenciales grandes incendios		0.383	
Combustibles	Cubierta del dosel	0.108	
Biomasa superficial		0.275	
Rebrotadoras		0.085	
Biomasa de arbustos		0.337	

Altura de base de copa		0.195	
Factores de supresión	Accesible a camiones de bomberos		0.456
Pendiente		0.265	
En contacto con cortafuegos		0.162	
Distancia a puntos de agua		0.118	
Vulnerabilidad	Distancia a áreas urbanas		0.245
Aspect		0.333	
Corredores ecológicos de conservación		0.257	
Densidad poblacional		0.169	

Ponderación de la consistencia de los participantes

Se calcularon los valores de RC para cada participante para ilustrar su consistencia en la realización de comparaciones por pares tanto a nivel de criterios como de subcriterios. Teniendo en cuenta los hallazgos de Saaty (1980), algunos participantes exhibieron valores de RC ligeramente por encima del umbral de 0,1 RC, lo que pone de relieve los posibles desafíos para comparar con precisión los criterios o subcriterios.

Para tener en cuenta estas inconsistencias, se asignaron ponderaciones de rendimiento a los participantes en función de los valores recíprocos normalizados de sus puntuaciones de RC. Los participantes con valores de RC más bajos, lo que indica una mayor consistencia, tuvieron una mayor influencia en la priorización final. Por el contrario, los participantes con valores de RC más altos se ponderaron adecuadamente a la baja para garantizar la solidez de los resultados agregados.

Al ajustar las ponderaciones, el modelo MCDA logró un equilibrio entre la inclusión y la confiabilidad, lo que refleja un consenso que da cabida a diversas experiencias y mitiga las inconsistencias. Este enfoque reforzó la validez de los resultados de la priorización y del proceso general de toma de decisiones.

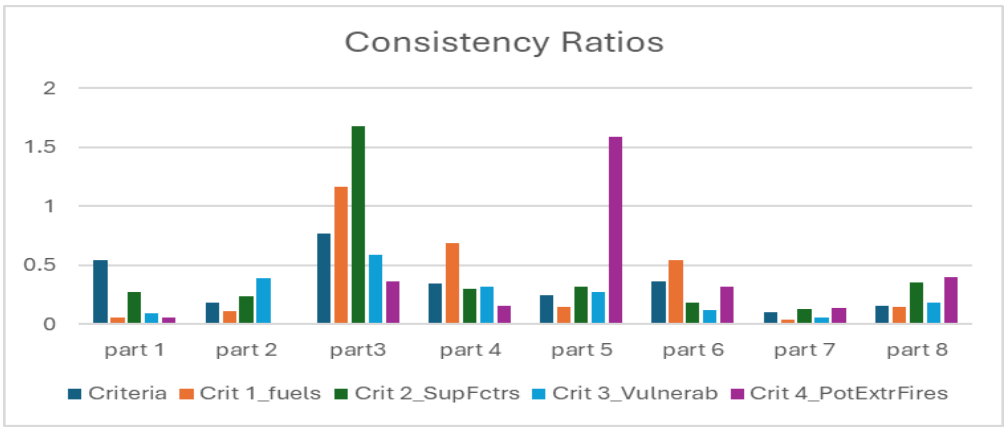

Figura 3. Representación de los índices de consistencia obtenidos por participante en cada fase

Además, esas ponderaciones se calcularon por fase, es decir, en función del rendimiento de cada participante en cada fase (Tabla 4). Por ejemplo, un participante que demostró una fuerte consistencia en la ponderación de criterios tuvo una mayor influencia en esa fase, mientras que su desempeño en la fase de subcriterios se evaluó de forma independiente. Este enfoque garantizó que las incoherencias en una fase no afectaran de manera desproporcionada su contribución general al proceso de priorización.

Tabla 4. Distribución de los pesos asignados al rendimiento de cada participante para cada fase

Ponderaciones asignadas a los participantes								
Nivel	**part 1**	**part 2**	**part3**	**part 4**	**part 5**	**part 6**	**part 7**	**part 8**
Criterios	0.054	0.157	0.038	0.084	0.118	0.080	0.280	0.189
Crit 1_combustibles	0.254	0.124	0.011	0.019	0.088	0.024	0.391	0.088
Crit 2_Fact_sup	0.118	0.137	0.019	0.106	0.100	0.176	0.254	0.089
Crit 3_Vulnerab	0.197	0.048	0.032	0.059	0.068	0.163	0.328	0.104
Crit 4_PotFuegos Extr	0.076	0.825	0.012	0.028	0.003	0.014	0.032	0.011

El modelo jerárquico (Figura 5), desarrollado en el software CDP, integra las preferencias de los participantes al tiempo que ajusta la consistencia de sus evaluaciones. No se excluye ninguna aportación de ningún participante, pero sus valores individuales de Índice de Consistencia (CR) se utilizan para ajustar el peso de sus contribuciones.

El modelo comienza incorporando la evaluación de cada participante de los principales grupos de criterios (Figura 4), con ajustes basados en su RC. Por

ejemplo, la ponderación del criterio 'Combustibles' se calcula como una suma ponderada de las preferencias de cada participante, ajustada por su ponderación individual basada en la RC.

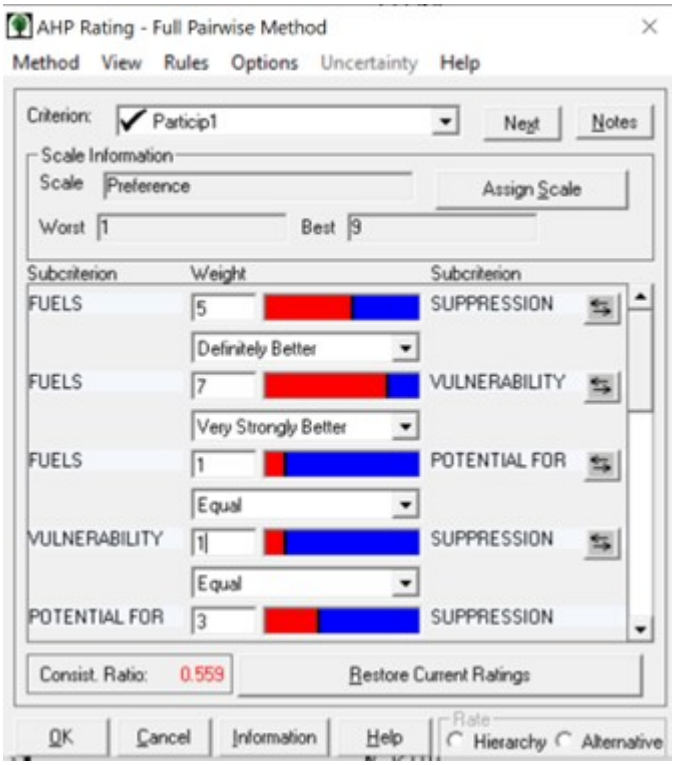

Figure 4. Ejemplo de la integración de la comparación por pares del participante 1 a nivel de criterios dentro del CDP y el CR correspondiente.

El mismo enfoque se aplica a los subcriterios. Las evaluaciones de los participantes de los subcriterios dentro de cada grupo de criterios se ponderan en función de sus puntuaciones de RC, lo que refleja el nivel titulado 'Participants performance for criteria weighting'. Las ponderaciones finales de cada subcriterio se calculan sumando las preferencias ponderadas de todos los participantes, lo que garantiza que tanto los criterios como los subcriterios reflejen un consenso equilibrado, teniendo en cuenta al mismo tiempo las incoherencias individuales.

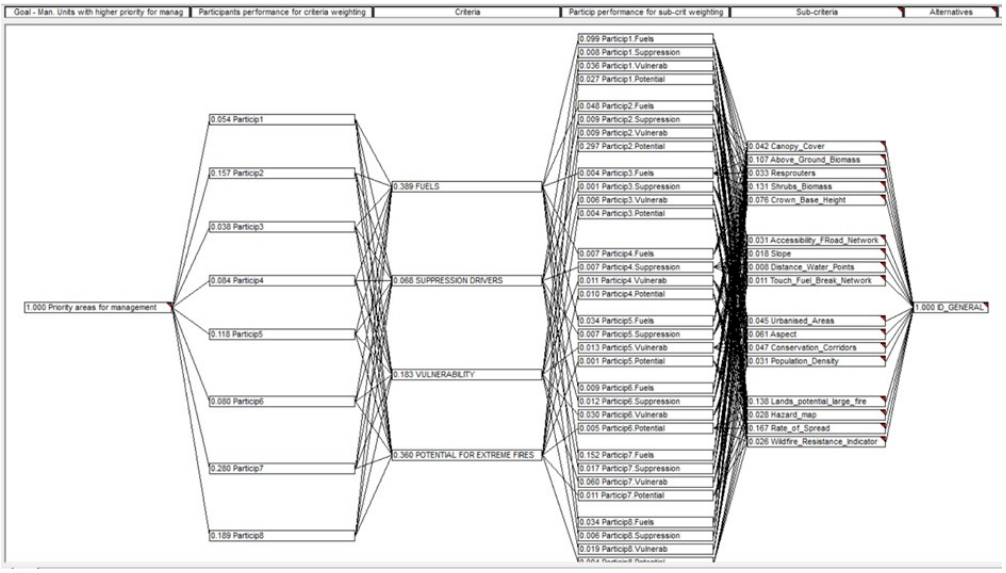

Figura 5. Modelo de priorización jerárquica en CDP integrando el desempeño de los participantes y sus pesos de importancia.

Mapas de prioridad

El resultado final del proceso MCDA es un conjunto de mapas de prioridades espacialmente explícitos, generados para ayudar a la toma de decisiones en el área de estudio de caso. Estos mapas se elaboraron utilizando ArcGIS Pro y el software EMDS, integrando el modelo CDP descrito en la sección anterior.

Se obtuvieron 4 mapas para los criterios 'Combustibles', 'Impulsores de supresión', 'Potencial para incendios extremos' y 'Vulnerabilidad' (Figura 6), señalando las 5 clases de prioridad para la gestión en función de cada uno de los subcriterios definidos en el modelo jerárquico.

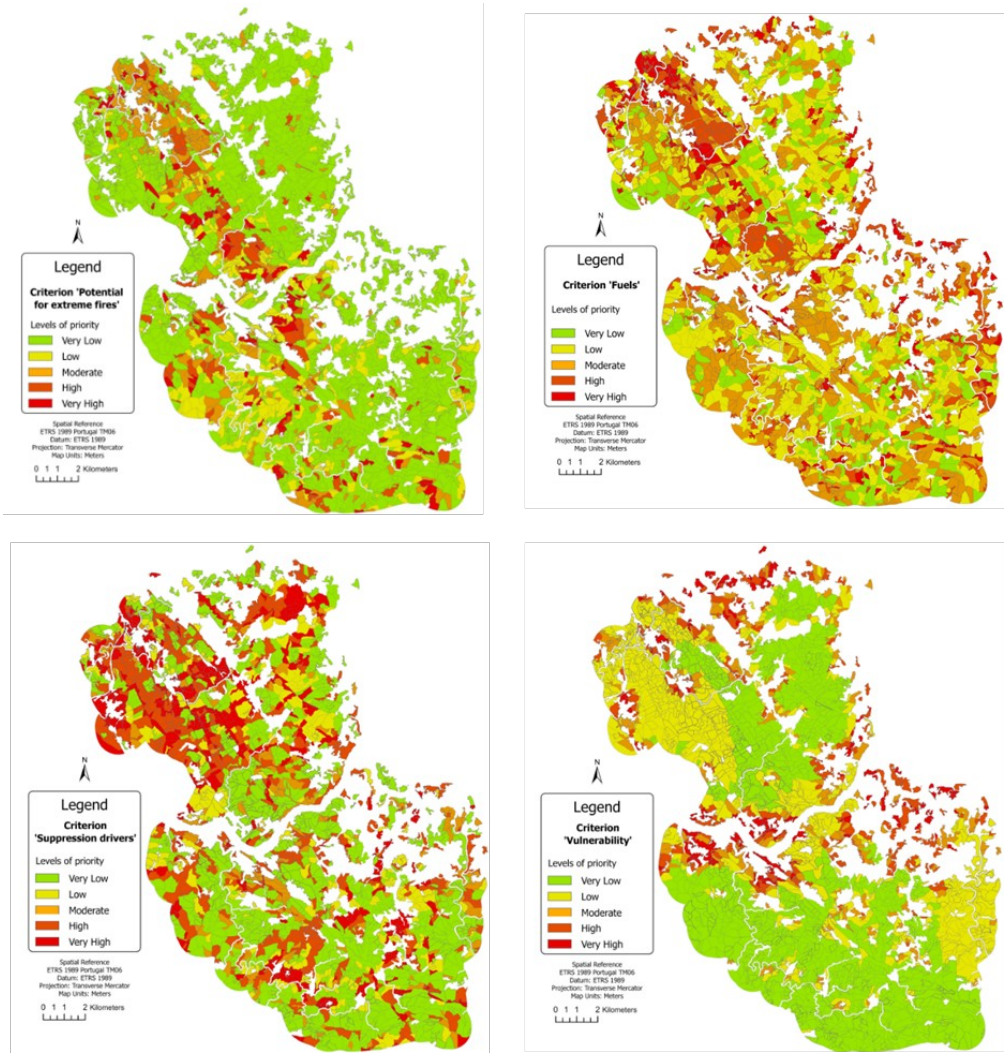

Figura 6. Mapas que caracterizan los 4 grupos de criterios después de combinar cada uno de los subcriterios y ponderaciones correspondientes

A partir de la combinación de los otros 4 mapas de criterios (Figura 6) se elabora un mapa final de prioridades para la gestión alineado con los objetivos de este estudio (Figura 7). De este mapa podemos extraer la siguiente información sobre la distribución del área para cada clase de prioridad (Tabla 5).

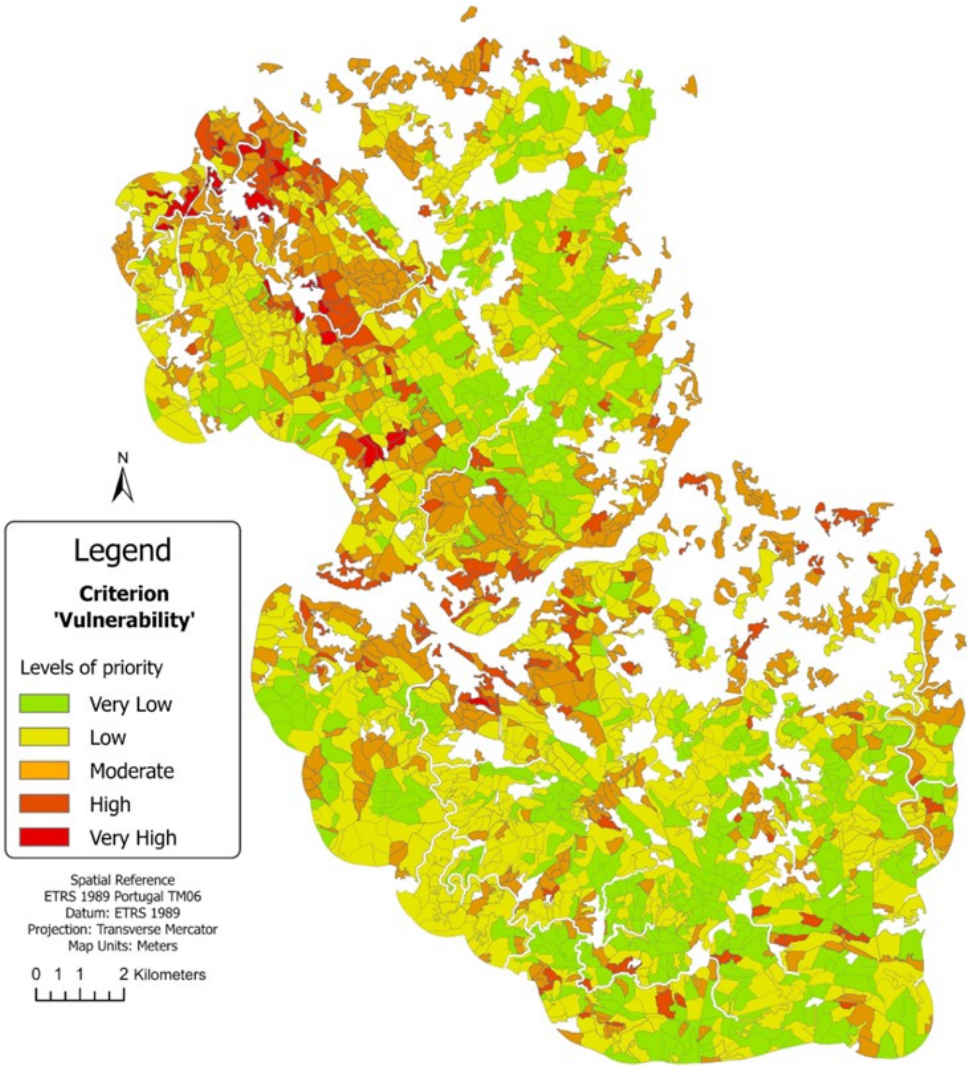

Figura 7. Mapa final de prioridades combinando los 4 mapas de criterios con las ponderaciones correspondientes

Tabla 5. Visualización de la distribución del área por clase de prioridad.

Clase de prioridad	***Area (ha)***	***Porcentaje***
Muy baja	5700.72	28.06
Baja	8723.78	42.94
Moderada	4606	22.67
Alta	1109.65	5.46
Muy alta	177.59	0.87

Usando intervalos iguales para visualizar los mapas de prioridades, vemos que hay menos polígonos en las clases más altas con respecto a la prioridad para la gestión. Se puede ver claramente cómo la mayoría de las áreas con muy alta prioridad de manejo se encuentran en la parte noroeste del área de estudio, creando una especie de banda de prioridad que se extiende desde el río Duero hasta el extremo norte. Esto se alinea con la prioridad de 3 de los 4 mapas de prioridad por criterio, donde podemos ver que tanto 'Combustibles', 'Conductores de supresión' y 'Potencial de incendios extremos' tienen áreas de mayor prioridad en esas zonas.

5. Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un marco de priorización sólido para el manejo del paisaje y los incendios forestales en la región de Vale do Sousa mediante la integración de los aportes de las partes interesadas a través de un proceso participativo de MCDA. Utilizando AHP, evaluamos los criterios y subcriterios que influyen en el riesgo de incendios forestales y las estrategias de supresión. Un total de 22 participantes contribuyeron a una encuesta en línea, y una discusión de grupo focal (FG) con 9 participantes refinó los parámetros de los subcriterios y obtuvo las ponderaciones correspondientes. El tamaño del FG se adhirió a las pautas recomendadas de 6 a 12 participantes para un discurso efectivo (Krueger y Casey, 2014). Si bien algunos estudios de priorización de incendios forestales no detallan la lógica detrás de la composición del grupo participativo y su proceso (Krsnik et al., 2024), esta investigación demuestra representatividad al incluir a las partes interesadas de los municipios, las unidades de extinción de incendios, las corporaciones públicas y las empresas privadas. Esta amplia inclusión garantiza una visión integral de la priorización del riesgo de incendios forestales, que abarca diversas perspectivas operativas, estratégicas y socioeconómicas.

Se calcularon los coeficientes de consistencia (RC) para cada participante a fin de determinar la fiabilidad de sus comparaciones por pares, y su rendimiento se ponderó en consecuencia, según Srđević et al. (2008). Muchos estudios de priorización basados en MCDA ignoran o no tienen en cuenta suficientemente las inconsistencias de los participantes al agregar preferencias y aplicar ponderaciones iguales a todas las partes interesadas (González-Olabarria et al., 2019), lo que podría reducir la confiabilidad de la decisión cuando los participantes tienen experiencia variada. El ajuste de ponderación en dos pasos para las diferentes fases de decisión mejora la solidez y aborda los distintos niveles de conocimiento en los puntos de decisión, un refinamiento metodológico que rara vez se emplea en la investigación sobre el manejo de incendios forestales. Este refinamiento mitiga el riesgo de penalizar en exceso a los participantes que pueden haber mostrado una menor consistencia en una fase pero un mejor desempeño en otra, manteniendo así la inclusividad al tiempo que abordan el rigor metodológico (Saaty, 1980).

Como dato de interés, el participante que logró la relación de consistencia más baja (mejor) tenía experiencia previa con la técnica AHP. Es probable que, sabiendo cómo funciona, supieran responder a la encuesta, dirigiendo las ponderaciones hacia los atributos que consideraban prioritarios. Este es un punto que vale la

pena tener en cuenta para futuros estudios que utilicen esta técnica. Al presentar todos los criterios y subcriterios a los participantes desde el principio, como se hizo en la encuesta, estos pueden seleccionar previamente los que les han dado prioridad. Como resultado, pueden influir en los niveles de importancia hacia la dirección deseada.

La discusión del FG proporcionó información cualitativa valiosa sobre la relevancia contextual de los subcriterios seleccionados, complementando el proceso cuantitativo de AHP. La asignación de umbrales para parámetros como la densidad de población en función de los datos locales garantizó que la priorización siguiera teniendo en cuenta el contexto. Este enfoque es coherente con los marcos de planificación regional que abogan por la calibración localizada de los criterios de decisión (Geneletti, 2013).

Otra innovación clave es el uso de umbrales identificados localmente para subcriterios, como la 'densidad de población', en lugar de aplicar umbrales genéricos o establecidos globalmente que pueden no reflejar las condiciones regionales (Bistinas et al., 2013). Esto aumenta la pertinencia práctica del modelo de priorización, lo que permite recomendaciones de gestión más específicas.

Los resultados de la priorización revelan una variabilidad significativa en las necesidades de manejo de incendios forestales en toda el área de estudio. La menor proporción de la superficie (0,87%) representada por la Clase 5 ('Prioridad muy alta') indica una concentración de extrema necesidad de gestión en zonas localizadas. Esta distribución se alinea con las expectativas en los paisajes de esta área, donde la amenaza de incendios forestales varía notablemente debido a la heterogeneidad en la carga y composición del combustible, la topografía y los factores humanos (Moreira et al., 2011). La superficie relativamente pequeña asignada a zonas de muy alta prioridad pone de relieve la importancia de las intervenciones selectivas más que de las medidas de gestión generalizadas. El hecho de que las áreas de mayor prioridad se ubiquen en la parte noroeste del CFS no es fruto de la casualidad, ya que varios factores se alinean en esa área favoreciendo el resultado obtenido. En primer lugar, gran parte de esa cordillera no se había quemado en los grandes incendios de 2017, por lo que la acumulación de combustibles es mayor que en otras zonas. Además, la orientación de las laderas es predominantemente este y oeste, lo que fue elegido por los interesados como orientaciones más vulnerables. Además, la red vial es intensa en la zona y el número de puntos de agua es extenso, sumado a la relativa proximidad a las poblaciones, hace que sea una mayor prioridad llevar a cabo acciones de manejo en la zona. A partir de estos mapas, sería necesario, dentro de estas zonas de máxima prioridad, determinar qué tipo de acción y de qué tamaño serían necesarios para facilitar el objetivo, que es mejorar la eficiencia de los esfuerzos de extinción de incendios.

Este trabajo proporciona un marco transferible para la priorización de la gestión de incendios forestales que puede replicarse en otras regiones. La integración de enfoques participativos basados en AHP con MCDA y herramientas de apoyo a la toma de decisiones espaciales como CDP y EMDS en ArcGIS Pro establece una ruta metodológica clara y adaptable a diversos contextos. Al incorporar la ponderación

impulsada por las partes interesadas, el enfoque mejora la aceptación y el compromiso social, abordando la creciente necesidad de una gobernanza participativa. Esta estructura ofrece un modelo escalable para aplicaciones futuras, lo que permite la adaptación de los criterios a los desafíos regionales, al tiempo que garantiza procesos de toma de decisiones sólidos, transparentes e inclusivos en áreas de gestión conjunta.

6. Conclusiones

Este estudio presenta un marco sólido y participativo para la priorización de la gestión de incendios forestales en la región de Vale do Sousa, abordando tanto el rigor metodológico como la aplicabilidad práctica. La integración de la ponderación del desempeño de los participantes, las diversas aportaciones de las partes interesadas y los umbrales de datos relevantes a nivel local mejora la precisión de la toma de decisiones. Los mapas de prioridades generados ofrecen información procesable para la gestión estratégica, destacando las áreas de intervención focalizada y, en última instancia, reducen la frecuencia y la gravedad de los incendios forestales catastróficos. La investigación futura debe explorar la participación iterativa de las partes interesadas, la ponderación alternativa del rendimiento de los participantes y otros métodos de clasificación que se adapten en función de la distribución de datos o de los objetivos definidos por el usuario para perfeccionar aún más los sistemas participativos de apoyo a la toma de decisiones espaciales.

7. Agradecimientos

This study received support from the FIRE-RES project “Innovative technologies & socio-ecological-economic solutions for fire resilient territories in Europe” (European Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101037419.), the MEDFOR Master Programme on Mediterranean Forestry and Natural Resources Management (Erasmus+: Erasmus Mundus Joint Master Degrees, Project 20171917) and from Centro de Estudos Florestais (CEF), research unit funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), Portugal within UIDB/00239/2020.

8. Bibliografía

ABEDI GHESHLAGHI, H.; FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. 2020. GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic. J Environ Plann Manage. 63(3): 481-499.

ABELSON, E. S.; REYNOLDS, K. M.; MANLEY, P.; PAPLANUS, S. 2021. Strategic decision support for long-term conservation management planning. Forest Ecol Manage. 497: 119533.

AGÊNCIA PARA A MODERNIZAÇÃO ADMINISTRATIVA. n.d. Mapa de declives de Portugal Continental (EU DEM). Dados.gov.pt. [https://dados.gov.pt/pt/datasets/mapa-de-declives-de-portugal-continental-eu-dem/](https://dados.gov.pt/pt/datasets/mapa-de-declives-de-portugal-continental-

eu-dem/)

ANANDA, J.; HERATH, G. 2003. The use of Analytic Hierarchy Process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planning. Forest Policy Econ. 5(1): 13-26.

ARCA, D.; HACISALIHOG'LU, M.; KUTOĞLU, Ş. H. 2020. Producing forest fire susceptibility map via multi-criteria decision analysis and frequency ratio methods. Nat Hazards. 104: 73-89.

ATKINSON, R.; FLINT, J. 2001. Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies. Social Res Update. 33(1): 1-4.

BISTINAS, I.; OOM, D.; SÁ, A. C.; HARRISON, S. P.; PRENTICE, I. C.; PEREIRA, J. M. 2013. Relationships between human population density and burned area at continental and global scales. PLoS One. 8(12): e81188.

BORGES, J. G.; MARQUES, S.; GARCIA-GONZALO, J.; RAHMAN, A. U.; BUSHENKOV, V.; SOTTOMAYOR, M.; NORDSTRÖM, E. M. 2017. A multiple criteria approach for negotiating ecosystem services supply targets and forest owners' programs. Forest Sci. 63(1): 49-61.

BOTEQUIM, B.; ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, A.; GARCIA-GONZALO, J.; SILVA, A.; MARQUES, S.; FERNANDES, P. M.; TOMÉ, M. 2015. A model of shrub biomass accumulation as a tool to support management of Portuguese forests. iForest-Biogeosci Forestry. 8(2): 114.

CAMPBELL, J. 2002. A critical appraisal of participatory methods in development research. Int J Social Res Methodol. 5(1): 19-29.

CHEN, J.; YANG, S. T.; LI, H. W.; ZHANG, B.; LV, J. R. 2013. Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks). Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci. 40: 47-50.

de SOUSA XAVIER, A. M.; FREITAS, M. D. B. C.; de SOUSA FRAGOSO, R. M. 2015. Management of Mediterranean forests—A compromise programming approach considering different stakeholders and different objectives. Forest Policy Econ. 57: 38-46.

DIREÇÃO-GERAL DO TERRITÓRIO. 2020. Carta de Áreas Edificadas 2018. Dados abertos.
https://www.dgterritorio.gov.pt/dados-abertos

EUROSTAT. 2021. GEOSTAT – Population distribution. European Commission. [https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/population-distribution/geostat] (https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/population-distribution/geostat)

FAIAS, S. P.; PALMA, J. H. N.; BARREIRO, S.; PAULO, J. A.; TOMÉ, M. 2012. Resource communication. sIMfLOR – platform for the Portuguese forest simulators. Forest Syst. 21(3): 543-548. [http://dx.doi.org/10.5424/fs/201221302951](http://dx.doi.org/10.5424/fs/2012213-02951)

FERNANDES, P. M.; PACHECO, A. P.; ALMEIDA, R.; CLARO, J. 2016. The role of fire-suppression force in limiting the spread of extremely large forest fires in Portugal. Eur J Forest Res. 135: 253-262.

FERNANDES, P.; GONÇALVES, H.; LOUREIRO, C.; FERNANDES, M.; COSTA, T.; CRUZ, M. G.; BOTELHO, H. 2009. Modelos de combustível florestal para Portugal. In: Actas do 6o Congresso Florestal Nacional. SPCF, Lisboa, Portugal. p. 348-354.

FERNÁNDEZ-GUISURAGA, J. M.; MARTINS, S.; FERNANDES, P. M. 2023. Characterization of biophysical contexts leading to severe wildfires in Portugal and their environmental controls. Sci Total Environ. 875: 162575.

FERREIRA, L.; CONSTANTINO, M. F.; BORGES, J. G.; GARCIA-GONZALO, J. 2015. Addressing wildfire risk in a landscape-level scheduling model: An application in Portugal. Forest Sci. 61(2): 266-277.

FINNEY, M. A. 2006. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: ANDREWS, P. L.; BUTLER, B. W. (Comps.). Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 213-220.

GENELETTI, D. 2013. Assessing the impact of alternative land-use zoning policies on future ecosystem services. Environ Impact Assess Rev. 40: 25-35.

GIGOVIĆ, L.; JAKOVLJEVIĆ, G.; SEKULOVIĆ, D.; REGODIĆ, M. 2018. GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina. Teh Vjesnik. 25(3): 891-897.

GÓMEZ-GARCÍA, E.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; CUNHA, M.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. 2016. Comparison of harvest-related removal of aboveground biomass, carbon and nutrients in pedunculate oak stands and in fast-growing tree stands in NW Spain. Forest Ecol Manage. 365: 119-127.

GONZALEZ-OLABARRIA, J. R.; REYNOLDS, K. M.; LARRAÑAGA, A.; GARCIA-GONZALO, J.; BUSQUETS, E.; PIQUÉ, M. 2019. Strategic and tactical planning to improve suppression efforts against large forest fires in the Catalonia region of Spain. Forest Ecol Manage. 432: 612-622.

ICNF. n.d.-a. Planos municipais de defesa da floresta contra incêndios (PMDFCI). https://fogos.icnf.pt/infoPMDFCI/PMDFCI_PUBLICOlist.asp#

ICNF. n.d.-b. GeoCatálogo – Rede Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (Tema 5). https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo_tema5.html

ICNF. n.d.-c. GeoCatálogo – Rede de Perímetros Florestais e Áreas Protegidas (Tema 1). https://geocatalogo.icnf.pt/catalogo_tema1.html

KANGAS, J. 1994. An approach to public participation in strategic forest management planning. Forest Ecol Manage. 70(1-3): 75-88.

KRAUS, D.; WOHLGEMUTH, T.; CASTELLNOU, M.; CONEDERA, M. 2022. Fire in Forest Ecosystems: Processes and Management Strategies. In: Disturbance Ecology. Springer International Publishing. p. 143-171.

KREIDER, M. R.; HIGUERA, P. E.; PARKS, S. A.; RICE, W. L.; WHITE, N.; LARSON, A. J. 2024. Fire suppression makes wildfires more severe and accentuates impacts of climate change and fuel accumulation. Nat Commun. 15(1): 2412.

KRSNIK, G.; OLIVÉ, E. B.; NICOLAU, M. P.; LARRAÑAGA, A.; TERÉS, J. Á.; GARCIA-GONZALO, J.; OLABARRIA, J. R. G. 2024. Spatial multi-criteria analysis for prioritising forest management zones to prevent large forest fires in Catalonia (NE Spain). Environ Challenges. 15: 100959.

MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. 2015. Introduction to GIS-MCDA. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. p. 23-54.

MARTINS, H.; BORGES, J. G. 2007. Addressing collaborative planning methods and tools in forest management. Forest Ecol Manage. 248(1-2): 107-118.

MARQUES, S.; BORGES, J. G.; GARCIA-GONZALO, J.; MOREIRA, F.; CARREIRAS, J. M. B.; OLIVEIRA, M. M.; PEREIRA, J. M. C. 2011. Characterization of wildfires in

Portugal. Eur J Forest Res. 130: 775-784.

MARQUES, M.; REYNOLDS, K. M.; MARTO, M.; LAKICEVIC, M.; CALDAS, C.; MURPHY, P. J.; BORGES, J. G. 2021. Multicriteria Decision Analysis and Group Decision-Making to Select Stand-Level Forest Management Models and Support Landscape-Level Collaborative Planning. Forests. 12(4): 399.

McWETHY, D. B.; SCHOENNAGEL, T.; HIGUERA, P. E.; KRAWCHUK, M.; HARVEY, B. J.; METCALF, E. C.; KOLDEN, C. 2019. Rethinking resilience to wildfire. Nat Sustain. 2(9): 797-804.

MILIC, N.; POPOVIC, B.; MIJALKOVIC, S.; MARINKOVIC, D. 2019. The influence of data classification methods on predictive accuracy of kernel density estimation hotspot maps. Int Arab J Inf Technol. 16(6): 1053-1062.

MÖNKKÖNEN, M.; JUUTINEN, A.; MAZZIOTTA, A.; MIETTINEN, K.; PODKOPAEV, D.; REUNANEN, P.; TIKKANEN, O. P. 2014. Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. J Environ Manage. 134: 80-89.

MOREIRA, F.; VIEDMA, O.; ARIANOUTSOU, M.; CURT, T.; KOUTSIAS, N.; RIGOLOT, E.; BILGILI, E. 2011. Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. J Environ Manage. 92(10): 2389-2402.

NORDSTRÖM, E. M.; ERIKSSON, L. O.; ÖHMAN, K. 2010. Integrating multiple criteria decision analysis in participatory forest planning: Experience from a case study in northern Sweden. Forest Policy Econ. 12(8): 562-574.

NUNES, L.; PASALODOS-TATO, M.; ALBERDI, I.; SEQUEIRA, A. C.; VEGA, J. A.; SILVA, V.; REGO, F. C. 2022. Bulk density of shrub types and tree crowns to use with forest inventories in the Iberian Peninsula. Forests. 13(4): 555.

REYNOLDS, K. M.; HESSBURG, P. F. 2014. An overview of the ecosystem management decision-support system. In: Making Transparent Environmental Management Decisions: Applications of the Ecosystem Management Decision Support System. p. 3-22.

REYNOLDS, K. M.; HESSBURG, P. F.; KEANE, R. E.; MENAKIS, J. P. 2009. National fuel-treatment budgeting in US federal agencies: Capturing opportunities for transparent decision-making. Forest Ecol Manage. 258(11): 2373-2381.

SIVRIKAYA, F.; KÜÇÜK, Ö. 2022. Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region. Ecol Inform. 68: 101537.

SCHMOLDT, D. L. (Ed.). 2001. The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making. Vol. 3. Springer Sci Business Media.

TAKAM TIAMGNE, X.; KANUNGWE KALABA, F.; RAPHAEL NYIRENDA, V.; PHIRI, D. 2022. Modelling areas for sustainable forest management in a mining and human dominated landscape: A Geographical Information System (GIS)-Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) approach. Ann GIS. 28(3): 343-357.

TEDIM, F.; LEONE, V.; AMRAOUI, M.; BOUILLON, C.; COUGHLAN, M. R.; DELOGU, G. M.; XANTHOPOULOS, G. 2018. Defining extreme wildfire events: Difficulties, challenges, and impacts. Fire. 1(1): 9.

SAATY, T. 1980. The Analytic Hierarchy Process (AHP) for Decision Making. In: Kobe, Japan. Vol. 1. p. 69.

SALTER, J.; ROBINSON, J.; WIEK, A. 2010. Participatory methods of integrated assessment—a review. Wiley Interdiscip Rev: Clim Change. 1(5): 697-717.

SRĐEVIĆ, B.; SUVOČAREV, K.; SRĐEVIĆ, Z. 2008. AHP grupno odlučivanje bez konsenzusa: primer planiranja segmentacije mokrog polja. Vodoprivreda. 40: 51-58.

UHDE, B.; ANDREAS HAHN, W.; GRIESS, V. C.; KNOKE, T. 2015. Hybrid MCDA methods to integrate multiple ecosystem services in forest management planning: a critical review. Environ Manage. 56: 373-388.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. 2006. Analytic hierarchy process: An overview of applications. Eur J Oper Res. 169(1): 1-29.

VAN HOANG, T.; CHOU, T. Y.; FANG, Y. M.; NGUYEN, N. T.; NGUYEN, Q. H.; XUAN CANH, P.; MEADOWS, M. E. 2020. Mapping forest fire risk and development of early warning system for NW Vietnam using AHP and MCA/GIS methods. Appl Sci. 10(12): 4348.

VIGNA, I.; BESANA, A.; COMINO, E.; PEZZOLI, A. 2021. Application of the socio-ecological system framework to forest fire risk management: A systematic literature review. Sustainability. 13(4): 2121.

XANTHOPOULOS, G.; LEONE, V.; DELOGU, G. M. 2020. The suppression model fragilities: The “firefighting trap”. In: Extreme Wildfire Events and Disasters. Elsevier. p. 135-153.