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

9CFE-1734

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

Organiza

El papel de la heterogeneidad del paisaje y la severidad del incendio en la dinámica post-incendio de paisajes forestales mediterráneos

BLANCO-RODRÍGUEZ, M.A. (1,2), AMEZTEGUI, A. (1,2), G. ALDAY, J. (1), LECINA-DIAZ, J. (3), PINEDA-ZAPATA, S. (4), COLL L. (1,2)

(1) Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC)
(2) Departament de Ciència i Enginyeria Forestal i Agrícola. Universitat de Lleida
(3) Technical University of Munich (TUM). School of Life Sciences
(4) University of Eastern Finland (UEF). School of Forest Sciences

Resumen

El cambio climático está provocando un aumento en la intensidad y frecuencia de los incendios forestales, comprometiendo así la resiliencia de los ecosistemas mediterráneos. En este nuevo contexto, es importante comprender el papel de la heterogeneidad del paisaje y la severidad del incendio en la posterior dinámica del paisaje. Para ello, se seleccionaron 45 perímetros de incendios (ocurridos entre 2002-2004) dentro de la Península Ibérica y se analizó la dinámica de la heterogeneidad configuracional y composicional de estos paisajes quemados. Nuestros resultados sugieren que, aunque los incendios forestales pueden promover la heterogeneidad del paisaje cuando las condiciones previas al incendio son homogéneas, existe una importante interacción entre la severidad del incendio y la heterogeneidad del paisaje previa al incendio. Finalmente, nuestro estudio destaca la importancia de prestar atención a los efectos del cambio climático sobre la variabilidad futura de la severidad dentro de los perímetros de incendios, ya que podría alterar su función como factor que diversifica el paisaje.

Palabras clave

Cambio climático, ecología del paisaje, heterogeneidad configuracional, heterogeneidad composicional

1. Introducción

Se espera que el cambio climático aumente la frecuencia e intensidad de los incendios forestales en toda la cuenca mediterránea. Además, en las últimas décadas, muchas áreas del Mediterráneo han experimentado un aumento significativo en el abandono de tierras agrarias (LASANTA et al. 2017), que ha llevado a la homogeneización del paisaje (AMEZTEGUI et al. 2021). Este conjunto de factores ha modificado el régimen de incendios actual, ya que la mayor conectividad del combustible y las condiciones climáticas han incrementado la severidad de los incendios (MANTERO et al. 2020). Sin embargo, la severidad del incendio condiciona, a su vez, la respuesta de la vegetación, determinando así a largo plazo las dinámicas del paisaje tras el fuego (HALOFSKY et al. 2011). Por ejemplo, los paisajes que experimentan incendios con una alta variabilidad en la severidad del fuego tienden a desarrollar configuraciones más complejas tras los

eventos (PAUDEL Y MARKWITH, 2023). En contraste, aquellos que se queman de manera uniforme, por ejemplo, bajo condiciones de alta severidad, suelen generar paisajes más homogéneos (BOUNANDUCI et al. 2023).

La heterogeneidad del paisaje puede describirse desde una perspectiva tanto funcional como estructural. Así, la heterogeneidad funcional hace referencia al impacto de los diferentes tipos de cobertura del suelo en los procesos ecológicos, mientras que la heterogeneidad estructural se refiere únicamente a los atributos físicos de un paisaje (TONETTI et al. 2023). De acuerdo con FARHIG et al. (2011), la heterogeneidad estructural del paisaje (en adelante, LH, por sus siglas en inglés) se divide en dos componentes: (i) heterogeneidad composicional (el número y las proporciones de los tipos de cobertura del suelo) y (ii) heterogeneidad configuracional (su disposición espacial). Aunque es reconocido que los incendios alteran ambos componentes de la heterogeneidad del paisaje, la influencia de atributos específicos del fuego (por ejemplo, la severidad) y las características del paisaje previas al incendio en la configuración de las dinámicas post-incendio, sigue siendo en gran parte desconocida. Comprender esta relación es, sin embargo, clave para la gestión futura de los paisajes mediterráneos, especialmente en un contexto de aumento en la frecuencia y severidad de los incendios.

Este trabajo explora los efectos combinados de la severidad del fuego y la heterogeneidad del paisaje previa en los cambios en el paisaje post-incendio a medio plazo, centrándose en la LH y sus componentes. Para ello, se utilizó un conjunto de 225 paisajes que sufrieron incendios entre 2002 y 2004 dentro la España peninsular.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo fueron:

1. Evaluar cómo las condiciones del paisaje previas al incendio influyen en las dinámicas post-incendio de la heterogeneidad del paisaje (tanto en términos de composición como de configuración)
2. Comprender los efectos de la variabilidad en la severidad del fuego sobre los cambios en la heterogeneidad estructural de los paisajes.

3. Metodología

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en toda la España peninsular, donde el clima es variable, con una precipitación anual que oscila entre 200 y 2000 mm y temperaturas medias anuales que van desde 0 °C a 19 °C. En cuanto a las cubiertas del suelo, más de la mitad del territorio del área de estudio está ocupada por superficie forestal, donde las coníferas cubren la mayor parte del área total, siendo

Pinus halepensis Mill. y *Pinus pinaster* Ait. las especies arbóreas más abundantes. Un cuarto de las zonas forestales está compuesto por bosques de frondosas, principalmente *Quercus ilex* L., *Quercus suber* L. y *Quercus pyrenaica* Wild. Los matorrales cubren una tercera parte de las áreas forestales, siendo las familias *Ericaceae*, *Leguminosae* y *Cistaceae* las más comunes. Los bosques mixtos representan la superficie restante de las áreas forestales (MITECO, 2021) (ver Figura 1a).

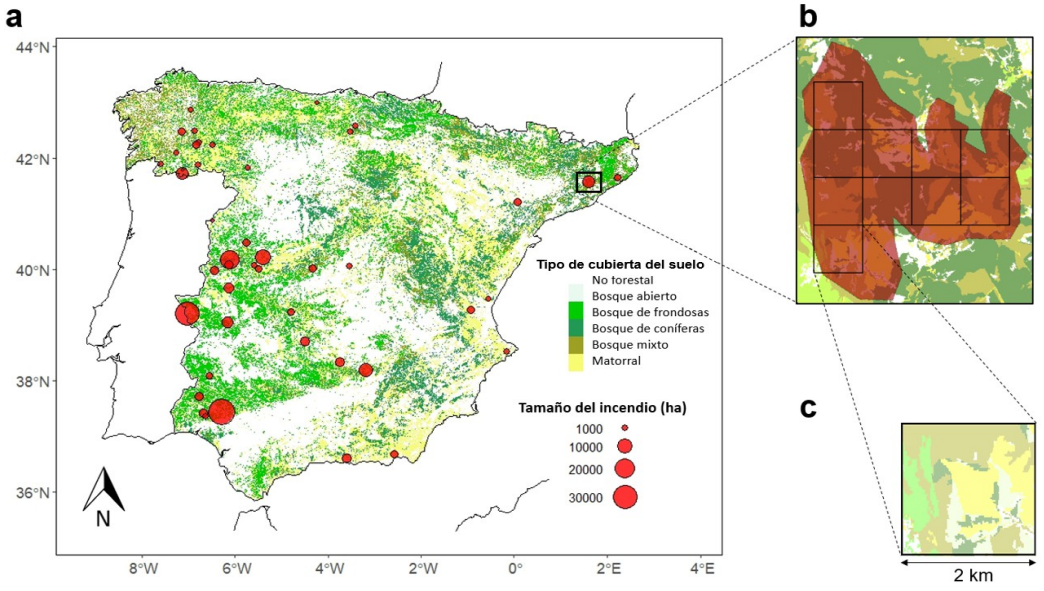

Figura 1. (a) Ubicación del área de estudio y los perímetros de 45 incendios forestales ocurridos entre 2002 y 2004. (b) Perímetro de incendio con los paisajes cuadrados de 2 x 2 km seleccionados (cuadrados con borde negro). (c) Paisaje cuadrado de 2 x 2 km ampliado que muestra las cubiertas del suelo.

Perímetros de incendios y datos de severidad

Se obtuvieron 48 perímetros de incendios (mayores de 100 ha y ocurridos entre 2002 y 2004) a partir de datos facilitados por las administraciones autonómicas. Para ampliar la muestra y evitar sesgos territoriales, se incorporaron 203 perímetros adicionales, obtenidos mediante análisis de imágenes de teledetección (MODIS), descartándose aquellos donde la cobertura de nubes y/o la topografía afectaron a la calidad de las imágenes. Finalmente, se excluyeron, del total de perímetros analizados, aquellos ubicados en áreas agrícolas, resultando en un total de 45 perímetros seleccionados. Estos perímetros variaron entre 358 y 38.306 ha, cubriendo un total de 183.442 ha.

La severidad de los incendios se calculó a nivel de píxel utilizando imágenes LANDSAT con una resolución de 30 m. Para este propósito, se empleó el índice Relativized Burn Ratio (RBR). Para calcular este índice se compararon las imágenes LANDSAT más cercanas, antes y después al día del incendio y sin cobertura de

nubes. Se calculó el RBR como sigue en la ecuación 1.

$$RBR = \left(\frac{dNBR}{(NBRprefire + 1.001)}\right) \quad (1)$$

Tras este proceso de filtrado, se obtuvo un conjunto de datos con más de 1 millón de píxeles distribuidos en los 45 perímetros seleccionados.

Cubiertas del suelo

Para determinar los cambios temporales en la cubierta del suelo se utilizó la base de datos geoespaciales Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF), publicada por el Ministerio para la Transición Ecológica, y que proporciona atributos generales de cobertura con una resolución de 25 m para siete fechas de referencia entre 1970 y 2018 (CUZZI et al. 2020). Se usaron los datos de LULUCF del año 2000 como referencia previa al incendio, y los del año 2015 como estado post-incendio. Se seleccionaron los cinco tipos de cobertura más relevantes para el objetivo del estudio: bosques de frondosas, bosques de coníferas, bosques mixtos, bosques abiertos y matorrales. Los restantes tipos de cubierta del suelo se clasificaron como no forestales.

Selección de paisajes

Para seleccionar los paisajes objeto de estudio se utilizó un enfoque sistemático basado en PASHER et al. (2013), donde aplicamos una ventana móvil de diferentes tamaños (áreas cuadradas de 100, 200, 500, 1000, 2000, 3000 y 4000 m de lado). Se calcularon varias métricas del paisaje para cada ventana, seleccionando el tamaño más pequeño que eliminara la dependencia de las métricas con la extensión del paisaje. Así, el tamaño óptimo seleccionado finalmente fue de 2 x 2 km. S e retuvieron únicamente aquellos paisajes que cumplieran dos criterios específicos: (1) más del 80% del área del paisaje debía haber sido quemada; y (2) más del 70% de la cobertura previa al incendio debía corresponder a superficie forestal (ver ejemplo en Figura 1b). Finalmente, se obtuvieron 242 paisajes dentro de los 45 perímetros de incendios seleccionados (ver un ejemplo de paisaje final en Figura 1c).

Métricas del paisaje y análisis estadístico

La heterogeneidad del paisaje previa al incendio se caracterizó mediante dos métricas: el índice de diversidad de Shannon (SHDI) para la heterogeneidad composicional y el área media del parche (MPA) para la heterogeneidad

configuracional. Ambas métricas fueron calculadas a nivel de paisaje usando los cinco tipos de cobertura de LULUCF mencionados anteriormente. Para evitar errores de procesamiento, se recortaron los valores anómalos de SHDI y MPA, es decir, se eliminó el 2,5% de los valores situados en la cola de la distribución de ambas métricas del paisaje.

En primer lugar, los paisajes se clasificaron en cuatro categorías de SHDI y MPA basadas en sus valores previos y posteriores al incendio, utilizando el algoritmo de agrupamiento (o clusterización) Partitioning Around Medoids. Posteriormente, se determinaron las transiciones pre a post-incendio entre cada una de las cuatro clases generadas para evaluar los cambios acontecidos en el paisaje.

En segundo lugar, se ajustaron modelos estadísticos para evaluar los efectos de la heterogeneidad previa al incendio y de la variabilidad en la severidad del fuego sobre los cambios en la estructura del paisaje. Se seleccionaron como variables dependientes los cambios en cada componente de heterogeneidad (composicional y configuracional) del paisaje tras el incendio, usando como referencia las condiciones previas al incendio (año 2000). Se ajustaron modelos lineales generalizados mixtos (GLMMs) por separado para cada componente de LH (configuracional y composicional), incluyendo como predictores la LH previa al incendio, la variabilidad en la severidad del fuego (CV RBR), y su interacción. Así, calculamos el LH anterior a la perturbación en el año 2000 (LH2000), mientras que el LH posterior al incendio se basó en las cubiertas del suelo en el año 2015, es decir, entre 11 y 13 años después de la perturbación (LH2015). Finalmente, calculamos la magnitud del cambio en la heterogeneidad del paisaje como la diferencia entre los valores post-incendio y pre-incendio según la ecuación 2.

$$Cambio\ en\ la\ heterogeneidad\ del\ paisaje = LH^{2015} - LH^{2000} \quad (2)$$

Además, se incluyó la identidad del incendio como variable aleatoria para considerar la estructura espacial de los datos. La calidad del ajuste de los modelos se evaluó mediante R^2 marginal (R^2m) y condicional (R^2c). Además, se verificó la autocorrelación espacial de los residuos mediante la prueba I de Moran. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el software estadístico R.

4. Resultados

Casi la mitad (42%) de la cobertura forestal previa a los incendios correspondía a matorrales, un 21% a bosques de frondosas, un 14% a bosques abiertos, un 13% a bosques de coníferas y un 10% a bosques mixtos. Por otro lado, el 18% de los píxeles se mantuvo sin cambios, mientras que el 82% se transformaron en un tipo

de cobertura de suelo diferente. En términos de transiciones de cubiertas del suelo, los bosques mixtos presentaron los mayores cambios (53%), mientras que los bosques de frondosas fueron los más estables (solo un 5% de cambios) después del incendio (ver Figura 2 para el resto de cubiertas del suelo).

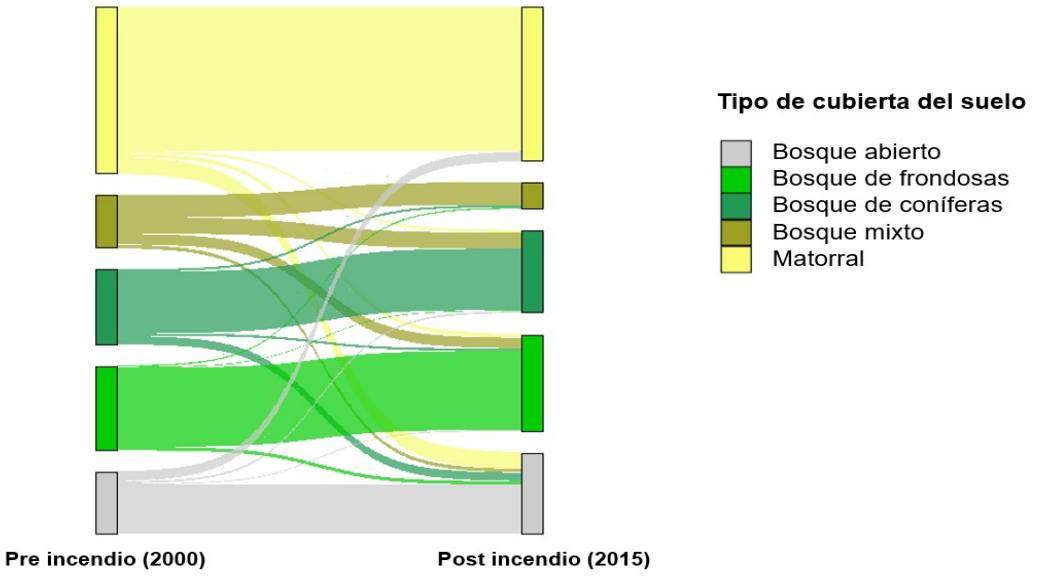

Figura 2. Diagrama que muestra las transiciones de píxeles entre los tipos de cubiertas del suelo anteriores al incendio (año 2000) y posteriores al incendio (2015) en los 225 paisajes analizados.

El análisis de clústers indicó que el 76% de los paisajes mostraron valores altos de LH composicional, mientras que el 60% mostró valores elevados de LH configuracional. Por su parte, el 44% de los paisajes presentó alta LH composicional y configuracional, y un 6% presentó valores bajos tanto en LH composicional como configuracional (ver Figura 3a para más información). El análisis de transiciones entre clases de LH reveló que el 36% de los paisajes cambió de clase de LH tras los incendios, mientras que casi dos tercios permanecieron en la misma clase (ver Figura 3b). El 62% de las transiciones implicaron cambios únicamente en el componente configuracional, el 11% en el componente composicional y el 27% en ambos componentes (ver Figura 3b).

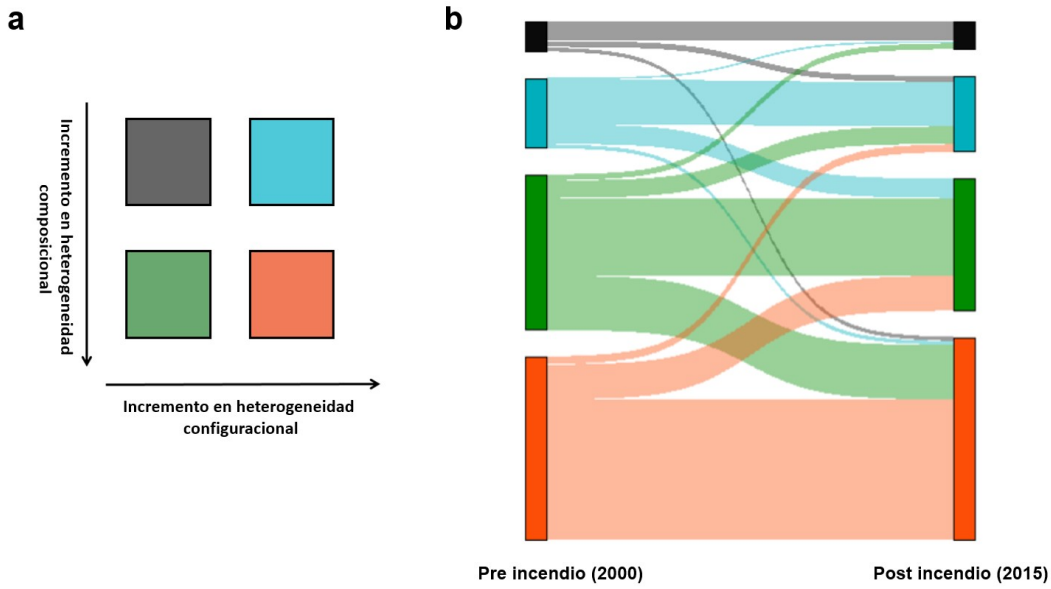

Figura 3. (a) Esquema teórico de los dos componentes principales de LH. Cada cuadrado grande es un paisaje, y los diferentes colores indican la clase de LH según nuestro análisis de conglomerados (b) Diagrama que muestra las transiciones entre las clases de LH anteriores y posteriores al incendio para los 225 paisajes.

Según el modelo de cambios en LH composicional (R^2m = 0.098 y R^2c = 0.321), solamente el SHDI previo al incendio tuvo un efecto significativo (negativo) sobre el cambio en LH, mientras que ni la variabilidad en la severidad del fuego, ni su interacción con el SHDI previo al incendio, fueron estadísticamente significativas. Por el contrario, todas las variables explicativas incluidas en el modelo de LH configuracional fueron estadísticamente significativas (R^2m = 0.075 y R^2c = 0.804) (ver Tabla 1 para más información). A su vez, tanto el MPA previo al incendio, como la variabilidad en la severidad del fuego, tuvieron un efecto negativo significativo sobre el cambio en LH configuracional. Curiosamente, el modelo también reportó una fuerte interacción significativa entre la variabilidad en la severidad del fuego y el MPA previo al incendio. En paisajes con parches pequeños y medianos antes del incendio (es decir, valores de MPA por debajo de la media), la LH configuracional aumentó con la variabilidad en la severidad del fuego, mientras que ocurrió lo contrario para paisajes con parches muy grandes previos al incendio (ver Figura 4).

Tabla 1. Resultados de los modelos GLMM que evalúan los efectos del LH pre-incendio y la variabilidad de la severidad del fuego para el cambio en A) heterogeneidad composicional y B) heterogeneidad configuracional. Los predictores que son estadísticamente significativos (p-value < 0,05) se destacan en negrita.

Efectos fijos	Estimador	Error estándar	t- value	p-value	R^2m	R^2c
A) Cambio en heterogeneidad composicional					0.098	0.321
Intercepto	0.312	0.148	2.106	**0.036**		

SHDI pre incendio	-0.295	0.149	-1.978	**0.049**		
CV RBR	-0.003	0.004	-0.742	0.459		
SHDI pre-incendio x CV RBR	0.002	0.004	0.599	0.550		
B) Cambio en heterogeneidad configuracional					0.075	0.804
Intercepto	12.598	3.450	3.652	**0.000**		
MPA pre incendio	-0.872	0.184	-4.731	**0.000**		
CV of RBR	-0.211	0.073	-2.898	**0.004**		
MPA pre-incendio x CV RBR	0.017	0.005	3.543	**0.000**		

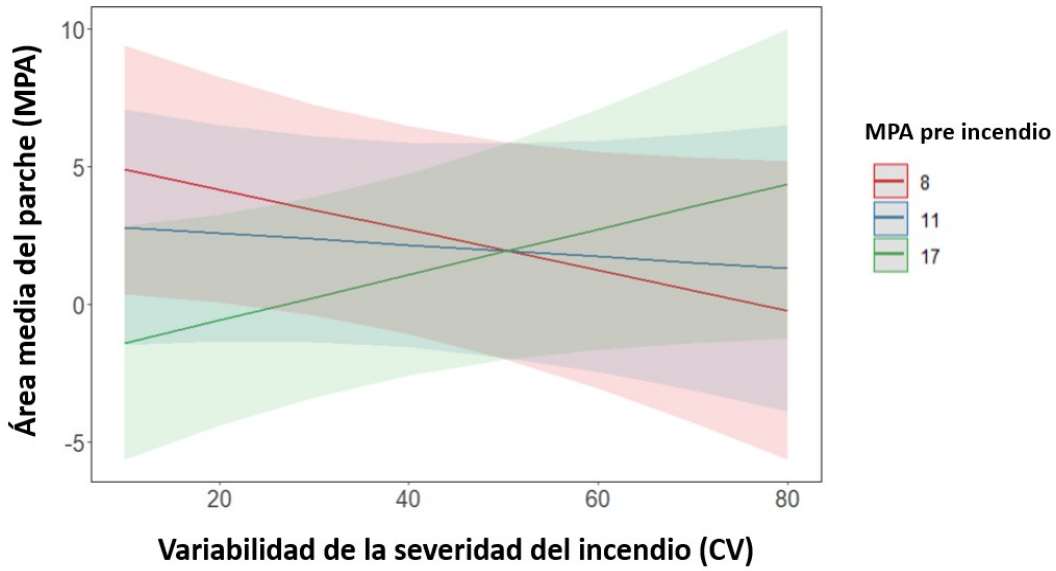

Figura 4. Resultados de la interacción entre la variabilidad de la severidad del incendio (CV) y el área media del parche (MPA) antes del incendio. Los colores representan el MPA antes del incendio según el primer cuartil (línea roja), la media (línea azul) y el tercer cuartil (línea verde).

5. Discusión

Dinámicas de la heterogeneidad composicional y configuracional del paisaje

Los resultados obtenidos soportan la idea de que los incendios forestales promueven la heterogeneidad estructural en paisajes previamente homogéneos, especialmente impulsando cambios en términos de LH configuracional. En línea con este resultado, VIANA-SOTO et al. (2022) encontraron que, en dos grandes incendios mediterráneos, la composición de las especies dentro del paisaje permaneció en su mayoría inalterada después de la perturbación. Esta falta de cambios en composición puede deberse a la elevada capacidad de reclutamiento

post-incendio de la vegetación mediterránea (PAUSAS et al. 2018). Es sabido que, muchas especies mediterráneas poseen rasgos adaptativos para hacer frente a los incendios forestales, lo que a menudo asegura una colonización rápida del área quemada y el mantenimiento de la comunidad vegetal previa a la perturbación. Además, los incendios pueden actuar interrumpiendo la dinámica sucesional de matorral a bosque (LLORET et al. 2002), lo que podría explicar los pocos cambios en la composición de especies, ya que casi la mitad de la cobertura previa al incendio consistía en matorrales (ver Figura 2). Además, nuestro estudio mostró que los incendios forestales indujeron una pérdida sensible de bosques mixtos (ver Figura 2), lo que podría indicar que el fuego no actúa como un agente diversificador a nivel de rodal, pero sí a nivel de paisaje. En este sentido, PERIS-LLOPIS et al. (2024) encontraron que, aunque los bosques mixtos se consideran generalmente más resilientes a las perturbaciones, la composición de especies juega un papel clave en los daños provocados por incendios. En definitiva, si bien nuestros resultados apuntan a que los incendios forestales provocan cambios en la estructura del bosque, pero no necesariamente en su composición, investigaciones futuras deberían abordar las dinámicas a largo plazo para determinar si estos cambios detectados son persistentes en el tiempo.

Efectos de la heterogeneidad composicional y configuracional previa al incendio en las dinámicas post-incendio

Nuestro estudio muestra que los cambios en la heterogeneidad del paisaje producidos tras el incendio estuvieron influidos por la composición y configuración del paisaje previa al incendio. Según se esperaba, los paisajes con mayor diversidad previa al incendio (es decir, mayores valores de SHDI) experimentaron menos cambios que los paisajes más homogéneos. Esto podría deberse a que los ecosistemas con una alta variedad de especies y formaciones vegetales pueden exhibir una mayor diversidad de rasgos relacionados con el fuego (PAUSAS, 1999), fomentando así una mayor probabilidad de respuestas al fuego, lo que podría mejorar su estabilidad y resiliencia después de la perturbación.

En cuanto a la LH configuracional, esta métrica aumentó tras el incendio en aquellos paisajes con parches grandes, mientras que los paisajes con parches pequeños fueron más estables. Este resultado concuerda con estudios previos que han mostrado cómo los paisajes con parches pequeños tienden a estar más aislados y proporcionan una matriz del paisaje con menor combustibilidad, lo que resulta en una menor probabilidad de incendios de alta severidad (FRANCIS et al. 2023). Nuestros resultados también indican que este efecto preventivo se mantiene incluso cuando los paisajes se ven afectados por incendios, ya que el fuego no tiene una capacidad homogeneizadora en paisajes de tipo mosaico (es decir, con mayor LH configuracional y composicional).

Efectos de la variabilidad en la severidad del fuego sobre la heterogeneidad configuracional

El papel de la severidad del fuego en la configuración de los paisajes post-incendio ha sido abordado en estudios previos y es sabido que, los incendios de alta severidad promueven la aparición de parches cada vez más grandes (HARVEY et al. 2016). Nuestros resultados mostraron que la variabilidad en la severidad del fuego juega un papel clave en la configuración de los paisajes post-incendio, principalmente a través de su interacción con la LH configuracional previa al incendio. Así, encontramos que una mayor variabilidad en la severidad del fuego incrementa la heterogeneidad configuracional solo en paisajes con parches pequeños y medianos antes del incendio (ver Figura 4). Por el contrario, una alta variabilidad en la severidad disminuye la heterogeneidad configuracional en paisajes con parches muy grandes. Una posible explicación es que, los paisajes con parches más grandes antes del incendio contenían una menor diversidad composicional inicial, predominando así los matorrales y bosques de frondosas (aproximadamente un 75% de la cobertura previa total). A su vez, los paisajes con una menor heterogeneidad configuracional antes del incendio también mostraron una menor diversidad composicional (mediana SHDI = 0.59) frente a los paisajes que eran más complejos antes del incendio (mediana SHDI = 0.99). Futuras investigaciones deberían abordar la compleja relación entre la variabilidad de la severidad del fuego y la heterogeneidad configuracional a escalas más finas. Por último, explorar el papel de los rasgos funcionales de las especies bajo diferentes severidades del fuego también puede contribuir a una mejor comprensión de los efectos combinados de los atributos del paisaje y el comportamiento del fuego en la dinámica del paisaje post-incendio.

6. Conclusiones

Este trabajo ofrece nuevos hallazgos sobre los efectos del fuego en la configuración y composición de los paisajes mediterráneos a medio plazo. Nuestros resultados indicaron que los paisajes con mayor diversidad antes del incendio eran más estables (tanto en composición, como en configuración) que los paisajes más homogéneos. Adicionalmente, destacamos la importancia que presenta la variabilidad en la severidad del fuego sobre los cambios en la heterogeneidad configuracional del paisaje. Estos resultados tienen implicaciones críticas para la gestión, ya que este trabajo confirma que un mantenimiento en forma de mosaico del paisaje puede contribuir a disminuir la severidad de los futuros incendios forestales. Por último, enfatizamos la necesidad de considerar el papel del fuego en la gestión futura del paisaje, ya que esto podría ayudar a reducir la vulnerabilidad de los bosques mediterráneos.

7. Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los diferentes organismos regionales encargados de la recogida de perímetros de incendios forestales en España. Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España a través del proyecto VULNIFOR (PID2022-142108OB-I00) y el contrato predoctoral de Miguel Ángel Blanco (PREP2022-000105). El trabajo se enmarca en la actividad del Grupo de Investigación ADAPTAFOR (2021-SGR-01530),

financiado por la Agencia de Gestión de Ayudas Universitarias y de Investigación de Cataluña. Aitor Ameztegui es Profesor Serra-Hunter financiado por la Generalitat de Catalunya.

8. Bibliografía

AMEZTEGUI, A.; MORÁN-ORDÓÑEZ, A.; MÁRQUEZ, A.; BLÁZQUEZ-CASADO, A.; PLA, M.; VILLERO, D.; ... & COLL, L. 2021. Forest expansion in mountain protected areas: Trends and consequences for the landscape. *Landsc. Urban Plan.*, 216, 104240.

BUONANDUCI, M. S.; DONATO, D. C.; HALOFSKY, J. S.; KENNEDY, M. C.; & HARVEY, B. J. 2023. Consistent spatial scaling of high-severity wildfire can inform expected future patterns of burn severity. *Ecol. Lett.*, 26(10), 1687-1699.

CUZZI, M. L.; RAMIRO, M. M. F.; GARCÍA, B. F.; FRAILE, M. Á. S. M.; GARCÍA, M. D. M. E.; CANO, J. C.; ... & MARTÍNEZ, Á. R. 2020. Mapping of the Spanish system of inventory and projections of emissions to the atmosphere. LULUCF Cartographic Series. *Revista Internacional Mapping*, 29(202), 42-51.

FAHRIG, L.; BAUDRY, J.; BROTONS, L.; BUREL, F. G.; CRIST, T. O.; FULLER, R. J.; ... & MARTIN, J. L. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecol. Lett.*, 14(2), 101-112.

FRANCIS, E. J.; POURMOHAMMADI, P.; STEEL, Z. L.; COLLINS, B. M.; & HURTEAU, M. D. 2023. Proportion of forest area burned at high-severity increases with increasing forest cover and connectivity in western US watersheds. *Landsc. Ecol.*, 38(10), 2501-2518.

HALOFSKY, J. E.; DONATO, D. C.; HIBBS, D. E.; CAMPBELL, J. L.; CANNON, M. D.; FONTAINE, J. B.; ... & SPIES, T. A. 2011. Mixed-severity fire regimes: lessons and hypotheses from the Klamath-Siskiyou Ecoregion. *Ecosphere*, 2(4), 1-19.

HARVEY, B. J.; DONATO, D. C.; & TURNER, M. G. 2016. Drivers and trends in landscape patterns of stand-replacing fire in forests of the US Northern Rocky Mountains (1984–2010). *Landsc. Ecol.*, 31, 2367-2383.

LASANTA, T.; ARNÁEZ, J.; PASCUAL, N.; RUIZ-FLAÑO, P.; ERREA, M. P.; & LANA-RENAULT, N. 2017. Space–time process and drivers of land abandonment in Europe. *Catena*, 149, 810-823.

LLORET, F.; CALVO, E.; PONS, X.; & DÍAZ-DELGADO, R. 2002. Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landsc. Ecol.*, 17, 745-759.

MANTERO, G.; MORRESI, D.; MARZANO, R.; MOTTA, R.; MLADENOFF, D. J.; & GARBARINO, M. 2020. The influence of land abandonment on forest disturbance regimes: a global review. *Landsc. Ecol.*, 35(12), 2723-2744.

MITECO. 2021. Superficie forestal arbolada según características de la vegetación y especies principales. *Anuario de Estadística Forestal*, Madrid.

PASHER, J.; MITCHELL, S. W.; KING, D. J.; FAHRIG, L.; SMITH, A. C.; & LINDSAY, K. E. 2013. Optimizing landscape selection for estimating relative effects of landscape variables on ecological responses. *Landsc. Ecol.*, 28, 371-383.

PAUDEL, A.; & MARKWITH, S. H. 2023. From the severity patch to the landscape: Wildfire and spatial heterogeneity in northern Sierra Nevada conifer forests. *J. Veg. Sci.*, 34(5), e13207.

PAUSAS, J. G. 1999. Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems: a simulation approach. *J. Veg. Sci.*, 10(5), 717-722.

PAUSAS, J. G.; LAMONT, B. B.; PAULA, S.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; & FIDELIS, A. 2018. Unearthing belowground bud banks in fire-prone ecosystems. *New Phytol.*, 217(4), 1435-1448.

PERIS-LLOPIS, M.; MOLA-YUDEGO, B.; BERNINGER, F.; GARCIA-GONZALO, J.; & GONZÁLEZ-OLABARRIA, J. R. 2024. Impact of species composition on fire-induced stand damage in Spanish forests. *Sci. Rep.*, 14(1), 8594.

TONETTI, V.; PENA, J. C.; SCARPELLI, M. D.; SUGAI, L. S.; BARROS, F. M.; ANUNCIACIÓN, P. R.; ... & RIBEIRO, M. C. 2023. Landscape heterogeneity: concepts, quantification, challenges and future perspectives. *Environ. Conserv.*, 50(2), 83-92.

VIANA-SOTO, A.; OKUJENI, A.; PFLUGMACHER, D.; GARCÍA, M.; AGUADO, I.; & HOSTERT, P. 2022. Quantifying post-fire shifts in woody-vegetation cover composition in Mediterranean pine forests using Landsat time series and regression-based unmixing. *Remote Sens. Environ.*, 281, 113239.