

Llorens, R.; Sobrino, J.; Franch, B.; Fernández, C.; Novo, A. Cartografía de severidad del fuego mediante imágenes Sentinel-2 en los incendios de Cáceres y Ourense (2025)

Cartografía de severidad del fuego mediante imágenes Sentinel-2 en los incendios de Cáceres y Ourense (2025)

Llorens, Rafael ¹ Sobrino, José Antonio ¹ Franch, Belén ¹ Fernández, Cristina ²
Novo, Ana ²

¹ Laboratorio de Procesado de Imágenes (LPI) de la Universidad de Valencia. Parque Científico - Campus de Paterna C/ Catedrático José Beltrán nº2, 46980 Paterna (Valencia)

² CSIC-Misión Biológica de Galicia (MBG). A Carballeira, 8, 36143 Salcedo, Pontevedra

ORCID: Llorens 0000-0002-1973-3437 Sobrino 0000-0003-3787-9373 Franch 0000-0003-0593-7874
Fernández 0000-0003-4134-8727 Novo 0000-0003-0443-9769

Correspondencia: rafael.llorens@uv.es jose.sobrino@uv.es belen.franch@uv.es cfernandez@mbg.csic.es
anovo@mbg.csic.es

RESUMEN

En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología operativa para la cartografía de severidad posincendio a partir de imágenes Sentinel-2 en dos grandes eventos ocurridos en Cáceres y Ourense durante 2025. La metodología integra índices espectrales derivados del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), que permiten la clasificación en niveles de severidad (baja, moderada y alta). Se evaluó la distribución de la severidad en términos temporales y espaciales. La validación frente a datos de campo mostró valores estadísticamente robustos (Kappa=0.65; F1-weighted=0.79; precisión global=79.5%). Los resultados evidencian una predominancia de severidad alta en Ourense (>68%) y moderada-alta en Cáceres.



Palabras clave: Incendios, severidad, Sentinel-2, Ourense, Cáceres


Fecha de recepción: 2 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 2 febrero 2026

Cartografía de severidad del fuego mediante imágenes Sentinel-2 en los incendios de Cáceres y Ourense (2025)



Llorens, Rafael ⁽¹⁾, Sobrino, José A. ⁽¹⁾, Franch, Belén ⁽¹⁾, Fernández, Cristina ⁽²⁾, Novo, Ana ⁽²⁾

⁽¹⁾ Laboratorio de Procesado de Imágenes (LPI) de la Universidad de Valencia. Parque Científico - Paterna (Valencia).

 0000-0002-1973-3437, rafael.llorens@uv.es ;  0000-0003-3787-9373, sobrino@uv.es.

 0000-0003-0593-7874, belen.franch@uv.es ;

⁽²⁾ CSIC-Misión Biológica de Galicia (MBG). A Carballeira, 8 Salcedo.

 0000-0003-4134-8727, cfernandez@mbg.csic.es ;  0000-0003-0443-9769, anovo@mbg.csic.es.

Resumen: En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología operativa para la cartografía de severidad posincendio a partir de imágenes Sentinel-2 en dos grandes eventos ocurridos en Cáceres y Ourense durante 2025. La metodología integra índices espectrales derivados del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), que permiten la clasificación en niveles de severidad (baja, moderada y alta). Se evaluó la distribución de la severidad en términos temporales y espaciales. La validación frente a datos de campo mostró valores estadísticamente robustos ($Kappa=0.65$; $F1\text{-weighted}=0.79$; precisión global=79.5%). Los resultados evidencian una predominancia de severidad alta en Ourense (>68%) y moderada-alta en Cáceres.

Palabras clave: Incendios, severidad, Sentinel-2, Ourense, Cáceres

Fire severity mapping from Sentinel-2 imagery for the 2025 wildfires in Cáceres and Ourense

Abstract: *In this work, we present the application of an operational methodology for post-fire severity mapping based on Sentinel-2 imagery for two large wildfire events in Cáceres and Ourense during 2025. The methodology integrates spectral indices derived from the near-infrared (NIR) and short-wave infrared (SWIR) regions, enabling the classification of severity into three levels (low, moderate, and high). The spatial and temporal distribution of severity was assessed for both events. Validation against field observations yielded statistically robust agreement ($Kappa = 0.65$; $F1\text{-weighted} = 0.79$; overall accuracy = 79.5%). Results indicate a predominance of high-severity burning in Ourense (>68%) and moderate-to-high severity in Cáceres.*

Keywords: *Wildfires, severity, Sentinel-2, Ourense, Cáceres*

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen uno de los principales factores de perturbación ecológica en los ecosistemas mediterráneos y atlánticos de la península ibérica, donde la recurrencia y severidad de los eventos se han visto reforzadas por la combinación de regímenes climáticos más extremos, acumulación de combustibles y cambios en usos del suelo (Pausas, J. G. and Keeley, J. E., 2019). La severidad posincendio, entendida como la magnitud del impacto del fuego sobre la vegetación y el suelo, es un parámetro clave para evaluar la respuesta ecológica, el riesgo de erosión, y la evolución de la regeneración vegetal (Morgan *et al.*, 2014). Su cuantificación es esencial para la planificación de actuaciones posincendio, el diseño de medidas de restauración y la priorización territorial.

En este contexto, los satélites como Sentinel-2 han facilitado el desarrollo de metodologías para la

estimación de severidad basadas en el contraste de bandas en el infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR) y su evolución temporal. Índices espectrales, como el *Normalized Burn Ratio* (NBR), han sido ampliamente empleados en la literatura para cartografiar severidad, explorar sus relaciones con el combustible disponible y las condiciones de propagación del fuego (Escuin, Navarro y Fernández, 2008). En este trabajo, se aplica la metodología desarrollada por Sobrino *et al.*, 2024 para la estimación de severidad posincendio en Cáceres y Ourense durante 2025, con el objetivo de (i) generar cartografía de severidad a partir de índices espectrales derivados del NIR y SWIR, (ii) analizar las diferencias en la distribución espacial de severidad entre ambos eventos y (iii) validar los resultados mediante datos de campo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Los análisis se centraron en dos eventos de gran extensión registrados en la provincia de Cáceres y Ourense durante 2025. Ambos casos de estudio se enmarcan en regiones con elevada recurrencia de incendios forestales, si bien con contextos biofísicos contrastados (Castro, Martín-Vide y Alonso, 2005). En Cáceres domina un clima mediterráneo con marcada sequía estival, temperaturas máximas elevadas y una fuerte oscilación térmica, sobre un paisaje estructurado por formaciones de matorral mediterráneo, dehesas, repoblaciones y masas de frondosas y coníferas dispersas. En Ourense, el régimen climático se aproxima a condiciones atlántico-mediterráneas, con mayor influencia oceánica y un mosaico de masas arboladas, matorral denso y áreas agrícolas, donde la continuidad horizontal del combustible favorece la propagación rápida del fuego bajo condiciones de viento y baja humedad relativa.

La Figura 1 muestra un mapa de los incendios forestales analizados (Cáceres y Ourense) junto con el tipo de superficie correspondiente (Corine Land Cover 2018).

La Tabla 1 muestra información de interés para cada uno de los incendios estudiados obtenida a partir del servicio European Forest Fire Information System (EFFIS).

Tabla 1. Información de los incendios estudiados proporcionada por el servicio *European Forest Fire Information System* (EFFIS). En negrita, los incendios donde se validaron los resultados de severidad.

ID	Municipio	Fecha de ignición	Superficie quemada (ha)
1	Garrovillas de Alconétar	19/08/2025	359
2	Casar de Cáceres	15/08/2025	3614
3	Cáceres	15/08/2025	160
4	Cáceres	16/07/2025	138
5	Cáceres	15/08/2025	3739
6	Cáceres	08/08/2025	1214
7	Alcuéscar	24/07/2025	779
8	Cáceres	17/06/2025	1055
9	Outomuro	12/08/2025	32
10	Oímbra	13/08/2025	24471
11	Maceda, Manzaneda y Montederramo	08/08/2025	30754
12	Cualedro	23/07/2025	145
13	Vilardévós	14/08/2025	1825
14	A Mezquita	12/08/2025	12026
15	A Veiga	15/08/2025	25953

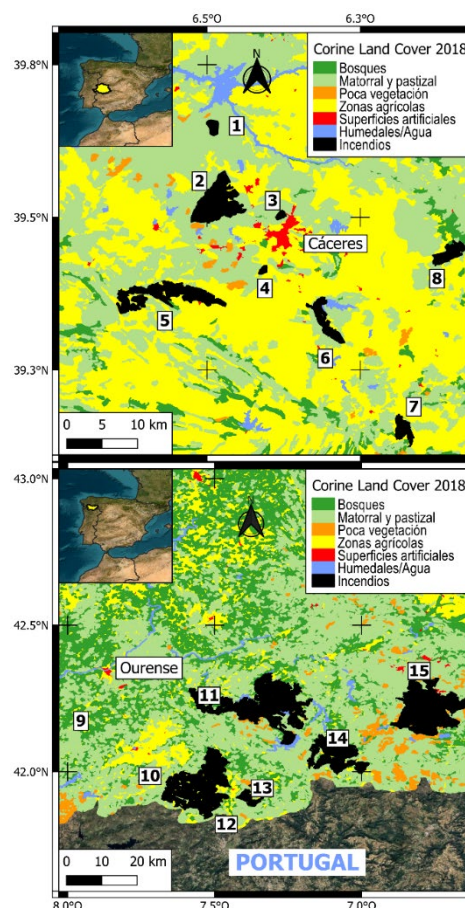


Figura 1. Distribución espacial de los incendios analizados en Cáceres (arriba) y Ourense (abajo), sobre el mapa *Corine Land Cover 2018* y el identificador (ID) de cada incendio descrito en la Tabla 1.

2.2. Imágenes Sentinel-2

El sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) a bordo de Sentinel-2 dispone de 13 bandas espectrales con resoluciones espaciales de 10, 20 y 60 m, lo que permite el análisis multiespectral de la superficie terrestre a distintas escalas espaciales. En este trabajo se emplearon imágenes Sentinel-2 Level-2A (reflectancia BOA), atmosféricamente corregidos a partir de los productos Level-1C y descargados a través del portal de la Agencia Espacial Europea (ESA). En todos los incendios se utilizaron dos fechas posteriores al incendio, con el fin de observar los cambios temporales producidos.

2.3. Datos de campo

La severidad del incendio se validó mediante parcelas de campo (20 × 20 m, equivalentes a la resolución espacial de Sentinel-2) clasificadas mediante análisis visual, tal y como se describe en el estudio de Ruiz-Gallardo *et al.*, 2004, que evalúa la severidad del incendio en función de los porcentajes de vegetación quemada (Ryan y Noste, 1985). La clasificación se estructura en tres niveles: severidad baja (% de vegetación quemada entre 0 y 50), moderada (% de vegetación quemada entre 50 y 90) y alta (% de vegetación quemada superior a 90). De los 15 incendios forestales analizados (Tabla 1), se realizaron

parcelas de campo en tres de ellos (Outomuro, Oímbra y Vilardevós). La Tabla 3 muestra la clasificación de las parcelas de severidad realizadas.

Tabla 3. Parcelas de campo realizadas en Outomuro, Oímbra y Vilardevós. Entre paréntesis, la fecha del trabajo en campo.

Lugar	Baja	Moderada	Alta
Outomuro (20/08/2025)	4	1	3
Oímbra (21/08/2025)	-	7	16
Vilardevós (22/08/2025)	-	5	5
Total	4	13	24

2.4. Procesado de imágenes Sentinel-2 y análisis estadístico

Las tareas de preprocesado, tales como: recortes, remuestreos (convertir la resolución espacial a 20 m) o máscara de nubes, se aplicaron a todas las imágenes descargadas. A partir de las imágenes preprocesadas, se obtuvieron índices espectrales como combinación de bandas entre el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), donde la reflectividad en el NIR disminuye debido a la consumición de la vegetación activa, mientras que el valor de reflectividad en el SWIR, aumenta por la pérdida de humedad del suelo (Escuin et al., 2008). Los índices calculados fueron los indicados para el cálculo de severidad del fuego por Sobrino et al., 2024, donde se divide la zona incendiada en función de la densidad de vegetación pre-incendio. Esta densidad de vegetación, se calcula previamente mediante el índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI; Petorelli et al., 2011), dividiendo la zona de estudio en vegetación baja, mixta y completa (Ecuación 1). Las Ecuaciones 2, 3 y 4, muestran los algoritmos de los índices *Burned Area Index for Sentinel-2* (BAIS2; Filippini, 2018), *Normalized Burn Ratio* (NBR; Key et al., 2006) y *Normalized Burn Ratio 3* (NBR3; Sobrino et al., 2024), aplicados a los valores de densidad de vegetación baja, mixta y completa, respectivamente. Todas las ecuaciones hacen referencia a la nomenclatura de bandas Sentinel-2.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (1)$$

$$BAIS2 = \left(1 - \sqrt{\frac{B6 * B7 * B8A}{B4}} \right) * \left(\frac{B12 - B8A}{\sqrt{B12 + B8A}} + 1 \right) \quad (2)$$

$$NBR = \frac{B8 - B12}{B8 + B12} \quad (3)$$

$$NBR3 = \frac{B7 - B12}{B7 + B12} \quad (4)$$

Para cada índice se calculó la severidad (utilizando 2 imágenes posincendio) y se clasificaron en tres niveles de severidad (baja, moderada y alta) mediante umbrales derivados de un histograma (Sobrino et al., 2024). La superficie quemada y la distribución porcentual por clase se evaluaron por fecha y por zona. La validación de la clasificación se realizó frente a las parcelas de campo

georreferenciadas, construyéndose una matriz de confusión a partir de la cual se obtuvieron métricas de precisión global, coeficiente Kappa, sensibilidad, especificidad y F1-weighted, así como la precisión balanceada por clase. Este conjunto de métricas permitió evaluar la robustez del método.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cartografía de severidad del fuego, presentada en este estudio, mostró patrones claramente diferenciados entre ambos incendios. En Cáceres predominó la severidad moderada-alta, mientras que en Ourense la severidad alta superó el 68% de la superficie quemada en ambas fechas analizadas (Figura 2). La Figura 3 muestra un ejemplo de la cartografía de severidad desarrollada para los incendios de Cáceres el día 27 de octubre de 2025.

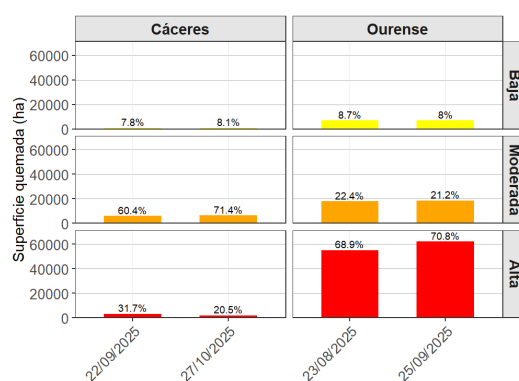


Figura 2. Superficie quemada (ha y %) para cada nivel de severidad en los incendios de Cáceres y Ourense (2025).

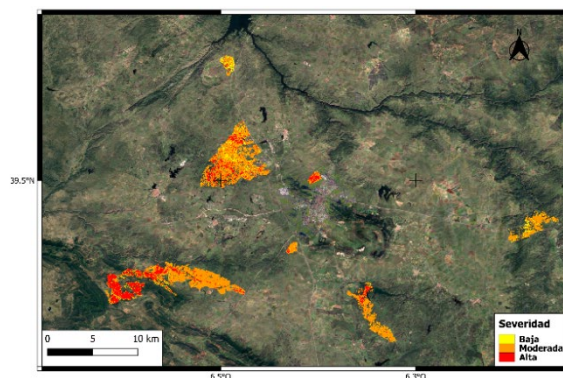


Figura 3. Mapa de severidad para los incendios de Cáceres a partir de una imagen Sentinel-2 (27/10/2025).

La validación con parcelas de campo en Ourense mostró una buena concordancia entre clasificación y observaciones in situ. La matriz de confusión proporcionó valores robustos (precisión global=80.5%; Kappa=0.66; F1-weighted=0.80), con sensibilidades superiores a 0.75 y precisiones balanceadas superiores a 0.79 para las tres clases (Figura 4), respaldando la utilidad operativa de la metodología. Estos resultados son coherentes con estudios previos que han demostrado la idoneidad de índices NIR-SWIR para la estimación de severidad posincendio (Pérez et al., 2017; Quintano, Fernández-Manso y Fernández-Manso, 2018).

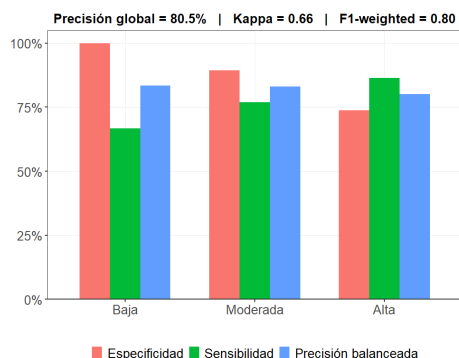


Figura 4. Resultados estadísticos obtenidos mediante las parcelas de campo en Ourense (Tabla 3).

4. CONCLUSIONES

La metodología aplicada permitió generar cartografía de severidad a partir de imágenes Sentinel-2, diferenciando de forma operativa entre severidad baja, moderada y alta. Los resultados evidenciaron diferencias consistentes entre los incendios analizados: en Ourense predominó la severidad alta, mientras que en Cáceres se observó un patrón moderado-alto. Dichas diferencias parecen estar asociadas tanto a la disponibilidad y continuidad de combustibles como a la variabilidad en las condiciones de propagación del fuego. Asimismo, la validación frente a datos de campo mostró la robustez del método, respaldando su utilidad para aplicaciones reales de evaluación y seguimiento posincendio. Esta metodología constituye una base relevante para el análisis ecosistémico y la planificación de actuaciones posincendio, facilitando la priorización territorial y la gestión adaptativa frente a regímenes de fuego potencialmente más intensos en el contexto actual.

5. AGRADECIMIENTOS

Proyecto realizado con la Beca Leonardo de Investigación Científica y Creación Cultural 2024 de la Fundación BBVA. La Fundación BBVA no se responsabiliza de las opiniones, comentarios y contenidos incluidos en el proyecto y/o los resultados obtenidos del mismo, los cuales son total y absoluta responsabilidad de sus autores. Agradecemos la financiación recibida por: 1) la Conselleria de Educación, Cultura y Universidades de la Generalitat Valenciana, dentro del marco PROMETEO 2024 (Subvenciones para la realización de proyectos de I+D+I para grupos de investigación de excelencia), para el proyecto "Indicadores Medioambientales y Fenómenos Adversos en la Comunidad Valenciana usando datos de satélite" (INMESAT, referencia CIPROM2023-42); 2) el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España, la Agencia Estatal de Investigación (AEI/10.13039/501100011033), en el marco del proyecto PID2023-150737OB-I00.

6. REFERENCIAS

Castro, M. D., Martín-Vide, J., & Alonso Oroza, S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI.

Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), 1053-1073.

Filippini, F. (2018, March). BAI2: Burned area index for Sentinel-2. In *Proceedings* (Vol. 2, No. 7, p. 364). MDPI.

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment (LA). In: Lutes, Duncan C.; Keane, Robert E.; Caratti, John F.; Key, Carl H.; Benson, Nathan C.; Sutherland, Steve; Gangi, Larry J. 2006. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. LA-1-55, 164.

Morgan, P., Keane, R. E., Dillon, G. K., Jain, T. B., Hudak, A. T., Karau, E. C., ... & Strand, E. K. (2014). Challenges of assessing fire and burn severity using field measures, remote sensing and modelling. *International Journal of Wildland Fire*, 23(8), 1045-1060.

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289-295.

Pérez, S. A., Vega, J. A., Rodríguez, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledetección*, (49), 49-61.

Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jędrzejewska, B., Lima, M., & Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate research*, 46(1), 15-27.

Quintano, C., Fernández-Manso, A., & Fernández-Manso, O. (2018). Combination of Landsat and Sentinel-2 MSI data for initial assessing of burn severity. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 64, 221-225.

Ruiz-Gallardo, J. R., Castaño, S., & Calera, A. (2004). Application of remote sensing and GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from south-eastern Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 13(3), 241-252.

Ryan, K. C., & Noste, N. V. (1985). Evaluating prescribed fires. Lotan, James E.; Kilgore, Bruce M.; Fischer, William C, 15-18.

Sobrinho, J. A., Llorens, R., Fernández, C., Fernández-Alonso, J. M., & Vega, J. A. (2024). Methodology for burned areas delimitation and fire severity assessment using Sentinel-2 data. A case study of forest fires occurred in Spain between 2018 and 2023. *Recent Advances in Remote Sensing*, 2, 1-13.