

Gelabert Vadillo, P.; Félez Bernal, J.; Crespo Pérez, R.; Alcasena Urdioz, F.; Rodrigues Mimbrero, M. Cartografía y análisis de la Interfaz Urbano-Forestal en Chile

Cartografía y análisis de la Interfaz Urbano-Forestal en Chile

Gelabert Vadillo, Pere¹ **Félez Bernal, Jorge**² **Crespo Pérez, Rodrigo**³ **Alcasena Urdioz, Fermín**⁴ **Rodrigues Mimbrero, Marcos**³

¹ Universitat de Lleida

² Universidad de Concepción

³ Universidad de Zaragoza

⁴ Universidad Pública de Navarra

ORCID: Gelabert Vadillo 0000-0001-8020-4932 Félez Bernal 0000-0003-1105-9414 Crespo Pérez 0009-0003-5960-8766
Alcasena Urdioz 0000-0002-2007-9487 Rodrigues Mimbrero 0000-0002-0477-0796

Correspondencia: perejoan.gelabert@udl.cat jfelez@udec.cl r.crespo@unizar.es fermin.alcasena@unavarra.es
rmarcos@unizar.es

RESUMEN

Este estudio desarrolla un marco reproducible para cartografiar la Interfaz Urbano-Forestal (WUI) a escala local usando datos globales abiertos, aplicado en Chile. La metodología integra información espacial sobre la presencia de edificaciones y la altura, cobertura y continuidad de la masa de combustible para clasificar el territorio en WUI-Interface y WUI-Intermix. La solidez se evalúa mediante un análisis de sensibilidad con 12 combinaciones de los parámetros, del cual se deriva un índice de intensidad y acuerdo de clasificación. Los resultados muestran que el 6,5% de las viviendas en Chile (890.884 edificaciones) se ubican en la WUI. Destacan los sectores de La Araucanía, Los Lagos y Bío-Bío por la exposición asociada a continuidad de combustibles, mientras que en la Región Metropolitana predomina un patrón vinculado mayormente a la densidad de población y a la expansión urbana.


Palabras clave: WUI, datos abiertos, Riesgo de incendio

Fecha de recepción: 7 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 7 febrero 2026


Cartografía y análisis de la Interfaz Urbano-Forestal en Chile

Gelabert Vadillo, Pere ⁽¹⁾, Fález Bernal, Jorge ⁽²⁾, Crespo Pérez, Rodrigo ⁽³⁾, Alcasena Urdioz, Fermín ⁽⁴⁾, Rodrigues Mimbreno, Marcos ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universitat de Lleida.

 0000-0001-8020-4932, perejoan.gelabert@udl.cat.


⁽²⁾ Universidad de Concepción.

 0000-0003-1105-9414, jfelez@udec.cl.

⁽³⁾ Universidad de Zaragoza.

 0009-0003-5960-8766, r.crespo@unizar.es;  0000-0002-0477-0796, rmarcos@unizar.es.

⁽⁴⁾ Universidad Pública de Navarra.

 0000-0002-2007-9487, fermin.alcasena@unavarra.es.

Resumen: Este estudio desarrolla un marco reproducible para cartografiar la Interfaz Urbano-Forestal (WUI) a escala local usando datos globales abiertos, aplicado en Chile. La metodología integra parámetros espacializados sobre la presencia de edificaciones y la altura, cobertura y continuidad de la masa de combustible para clasificar el territorio en WUI-Interface y WUI-Intermix. La solidez se evalúa mediante un análisis de sensibilidad con 12 combinaciones de los parámetros, del cual se deriva un índice de intensidad y acuerdo de clasificación. Los resultados muestran que el 6,5% de las viviendas en Chile (890.884 edificaciones) se ubican en la WUI. Destacan los sectores de La Araucanía, Los Lagos y Bío-Bío por la exposición asociada a continuidad de combustibles, mientras que en la Región Metropolitana predomina un patrón vinculado mayormente a la expansión urbana.

Palabras clave: WUI, datos abiertos, Riesgo de incendio

Mapping and analysis of the Wildland-Urban Interface in Chile

Abstract: *This study develops a reproducible framework to map the Wildland-Urban Interface (WUI) at a local scale using open global data, which has been applied in Chile. The methodology integrates geospatial data on buildings, canopy cover and height, and forest fragmentation, for classifying the territory into WUI-Interface and WUI-Intermix. The reliability of the method is evaluated through a sensitivity analysis with 12 parameter combinations, from which an intensity and classification agreement index is derived. The results show that 6.5% of housing in Chile (890,884 buildings) is located within the WUI, with a high concentration in the south-central region. La Araucanía, Los Lagos, and Bío-Bío stand out for exposure associated with fuel continuity, while in the Metropolitan Region, the pattern is mostly linked to population density and urban fabric expansion.*

Keywords: *WUI, Open data, wildfire risk*

1. INTRODUCCIÓN

La Interfaz Urbano-Forestal (WUI) se define de forma genérica como la zona donde los asentamientos de población se encuentran en contacto con la masa forestal. Este espacio concentra la mayor exposición al riesgo y, por ende, la pérdida de vidas, infraestructuras y propiedades a causa de los incendios forestales.

Para realizar un análisis efectivo de este espacio, la literatura científica distingue habitualmente entre dos tipologías fundamentales: WUI-Intermix y WUI-Interface. El WUI-Intermix engloba aquellas áreas donde las viviendas dispersas se entremezclan con vegetación continua. Por el contrario, la WUI-Interface identifica

zonas donde los asentamientos se encuentran a una distancia cercana de parches grandes y contiguos de vegetación (Bar-Massada *et al.*, 2023; Schug *et al.*, 2023). En esta última tipología, los asentamientos quedan expuestos principalmente a la caída de brasas o pavesas, mientras que el WUI-Intermix sería potencialmente afectado por llamas.

Aunque la WUI ha sido ampliamente estudiada y cartografiada en regiones como Norteamérica y Europa, investigaciones recientes demuestran que es un fenómeno global que cubre el 4.7% de la superficie terrestre y afecta a 3.5 mil millones de personas y en el contexto de América del Sur, la WUI ocupa

aproximadamente el 3% del territorio (Schug *et al.*, 2023). Específicamente en Chile, se han detectado vínculos críticos entre las áreas quemadas en incendios recientes y la población residente dentro de la WUI, lo que subraya la urgencia de contar con cartografía precisa para la gestión del riesgo (Sarricolea *et al.*, 2020).

En este escenario, la teledetección y el uso de herramientas abiertas ofrecen una oportunidad estratégica para delimitar y cartografiar la WUI de manera consistente (Li *et al.*, 2022). El acceso abierto a misiones satelitales globales (p. ej., Landsat y Sentinel), junto con productos derivados y plataformas de procesamiento y lenguajes de programación (GEE, R, Python), permite generar cartografías comparables entre regiones, lo que resulta especialmente relevante en países con alta heterogeneidad territorial, donde la disponibilidad de información detallada sobre viviendas, cobertura vegetal o estructura del dosel suele ser limitada (Radočaj *et al.*, 2020).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El objetivo central de esta investigación es el desarrollo de un marco metodológico para cartografiar la WUI a escala local mediante la integración de conjuntos de datos globales abiertos, ejemplificado en Chile continental. Para ello, se han seleccionado cuatro fuentes de información: la cobertura forestal obtenida del *Global Forest Cover Change 2015* a 30 metros de resolución (Townshend, 2016), la localización de unidades habitacionales mediante *Google Open Buildings* (Sirko *et al.*, 2021), la altura del dosel derivada del *Global Forest Canopy Height 2019* (Potapov *et al.*, 2021) y la identificación de fragmentos forestales a través de *ESA WorldCover 2021* (Zanaga *et al.*, 2022). Esta combinación de datos permite un análisis detallado de la estructura del paisaje y la presencia de edificaciones expuestas al riesgo de incendios.

Para la delimitación de la WUI, se han adaptado las definiciones del National Institute of Standards and Technology (NIST) de los Estados Unidos, clasificando el territorio en dos categorías. La categoría WUI-Intermix se caracteriza por una cobertura forestal (FC) superior al 50% y una densidad de viviendas (HD) que supere las 6,18 unidades por km². Por otro lado, la WUI-Interface identifica áreas donde la cobertura forestal es menor al 50% pero que mantienen la misma densidad habitacional y altura de arbolado, siempre que se encuentren a una distancia inferior a 2 km de una masa forestal cuya superficie sea de al menos 5 km².

Con el fin de evaluar la variabilidad en la clasificación de las interfases y el riesgo intrínseco asociado, se han analizado 12 combinaciones de parámetros, variando los umbrales de cobertura forestal (40%, 50% y 60%) y de altura (2 m, 3 m, 4 m y 5 m). A partir de este análisis de sensibilidad, se ha derivado un índice de persistencia para cada categoría, el cual se calcula contabilizando el número de veces que una celda es clasificada como WUI-Intermix o WUI-Interface dentro de las combinaciones ejecutadas, siguiendo las ecuaciones 1 y 2.

$$WUI_{interface}^{persistencia} = \frac{n. \text{ veces categorizado } WUI_{intermix}}{12} \quad (1)$$

$$WUI_{mix}^{persistencia} = \frac{n. \text{ veces categorizado } WUI_{intermix}}{12} \quad (2)$$

Por otro lado, se ha realizado un análisis estadístico zonal con el fin de cuantificar la magnitud de la WUI en cada una de las regiones chilenas. En particular, se estima el número de viviendas clasificadas en las categorías WUI-Interface y WUI-Intermix, junto con el porcentaje de acuerdo de clasificación obtenido a partir del índice de persistencia derivado del análisis de sensibilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis a escala nacional (Fig. 1 y 2) cuantifica que el 6,5% del total de viviendas en Chile se encontraría actualmente dentro de la Interfaz Urbano-Forestal (Gelabert *et al.*, 2025), lo que equivale a 890.884 edificaciones expuestas directamente al riesgo de incendios forestales, aproximadamente el doble si se compara con el resto de países de Latinoamérica (Schug *et al.*, 2023). Esta exposición no se distribuye de forma homogénea, sino que se concentra principalmente en el centro-sur del país, en concordancia con la distribución de las masas forestales y la transición latitudinal de las formaciones vegetales. Este gradiente ecológico no solo estructura el paisaje, sino que también condiciona la continuidad de combustibles, el comportamiento del fuego y, en consecuencia, los niveles de exposición estructural observados.

En la Región del Bío-Bío, dominada históricamente por bosques caducifolios de roble y raulí, gran parte de la cobertura nativa ha sido reemplazada por plantaciones homogéneas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, aumentando la propagación del fuego. La región concentra 94.832 edificaciones en interfaz (40 % de las viviendas con alta persistencia) y 33.606 en WUI-intermix (68 % de las viviendas con alta persistencia), confirmando un patrón consistente de exposición. La Araucanía es la región con mayor cantidad de viviendas en interfaz (175.293) y altos niveles de persistencia en la categorización (50 % de las edificaciones), hecho que puede indicar límites difusos entre interfaz y WUI-intermix. En WUI-intermix, registra 43.239 viviendas, de las cuales 83 % presentan alta persistencia, y la mitad alcanza 100 % de persistencia, evidenciando un patrón espacial sólido. Los Lagos, región dominada por Bosque Laurifolio, muestra la mayor concentración de viviendas en WUI-intermix (54.077) donde cerca de la mitad de las viviendas presenta 100 % de persistencia. En interfaz, registra 109.119 viviendas, consolidándose como una de las áreas de mayor exposición estructural. Aunque el centro-sur concentra los valores máximos de exposición, la Región Metropolitana de Santiago presenta 82.864 viviendas expuestas, principalmente en interfaz. Aquí, la exposición responde más a la expansión urbana en bordes de cerros y sectores de vegetación esclerófila (Janubová & Gress, 2016) que a la propia continuidad forestal (Fig. 2)

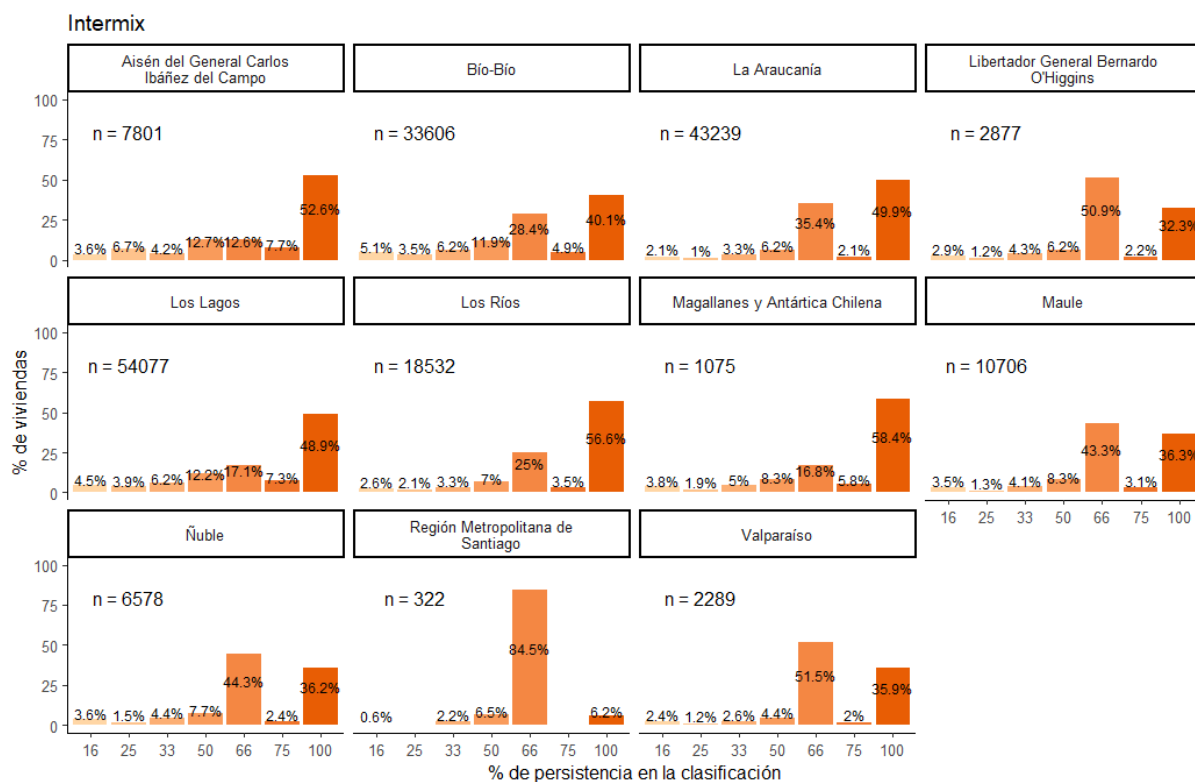


Figura 1: Viviendas dentro de la WU-WUI-intermix y su grado de acuerdo en la clasificación.



Figura 2: Viviendas dentro de la WU-Interfase y su grado de acuerdo en la clasificación

Finalmente, cabe mencionar que este estudio presenta limitaciones asociadas a la validación de resultados, la cual resulta compleja debido a la falta de información

nacional homogénea y actualizada a escala de vivienda, y a la presencia de zonas urbanas no reguladas (conocidas como "tomas"). Asimismo, los resultados

están condicionados por limitaciones inherentes a los sensores satelitales ópticos, particularmente en la resolución espacial y en su capacidad para caracterizar con precisión la estructura forestal. A ello se suma la desalineación temporal entre productos, dado que las fuentes empleadas pueden corresponder a años distintos, introduciendo incertidumbre en la estimación de la exposición de viviendas frente al fuego. Estas limitaciones podrían reducirse en trabajos futuros mediante el uso complementario de sensores activos, así como con la incorporación de cartografía de viviendas y censos de población armonizados. Además, propuestas metodológicas como la planteada, pueden incidir en la implementación de una nueva Ley chilena de Incendios que avanza sus procesos legislativos con urgencia dadas las recientes catástrofes en el Bío-Bío.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos "Developing a framework for assessing the wildfire risk at local scale" financiado por el AXA Research Fund, y los proyectos FyreCycle (CNS2023-144228) y FLARE (PID2023-148568OB-I00) en la que se inscribe también la beca predoctoral PRE2023-UZ-21, financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación (MICIU/AEI/10.13039/501100011033/) y fondos NextGenerationEU/PRTR.

5. REFERENCIAS

- Bar-Massada, A., Alcasena, F., Schug, F., & Radeloff, V. C. (2023). The wildland – urban interface in Europe: Spatial patterns and associations with socioeconomic and demographic variables. *Landscape and Urban Planning*, 235, 104759. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104759>
- Janubová, B., & Gress, M. (2016). Urbanization of poverty and the sustainable development of urban areas in Chile. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 11(4), 17-29.
- Li, S., Dao, V., Kumar, M., Nguyen, P., & Banerjee, T. (2022). Mapping the wildland-urban interface in California using remote sensing data. *Scientific Reports*, 12(1), 5789. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09707-7>
- Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M. C., Kommareddy, A., Pickens, A., Turubanova, S., Tang, H., Silva, C. E., Armston, J., Dubayah, R., Blair, J. B., & Hofton, M. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- Radočaj, D., Obhodaš, J., Jurišić, M., & Gašparović, M. (2020). Global Open Data Remote Sensing Satellite Missions for Land Monitoring and Conservation: A Review. *Land*, 9(11), 402. <https://doi.org/10.3390/land9110402>
- Sarricolea, P., Serrano-Notivoli, R., Fuentealba, M., Hernández-Mora, M., De La Barrera, F., Smith, P., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2020). Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface. *Science of The Total Environment*, 706, 135894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135894>
- Schug, F., Bar-Massada, A., Carlson, A. R., Cox, H., Hawbaker, T. J., Helmers, D., Hostert, P., Kaim, D., Kasraee, N. K., Martinuzzi, S., Mockrin, M. H., Pfoch, K. A., & Radeloff, V. C. (2023). The global wildland–urban interface. *Nature*, 621(7977), 94-99. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06320-0>
- Sirko, W., Kashubin, S., Ritter, M., Annkah, A., Bouchareb, Y. S. E., Dauphin, Y., Keysers, D., Neumann, M., Cisse, M., & Quinn, J. (2021). *Continental-Scale Building Detection from High Resolution Satellite Imagery (Versión 2)*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2107.12283>
- Townshend, J. (2016). *Global Forest Cover Change (GFCC) Tree Cover Multi-Year Global 30 m V003*. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MEASURES/GFCC/GFCC30-TC.003>
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.-E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2022). *ESA WorldCover 10 m 2021 v200 (Versión v200) [Dataset]*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7254221>

