

# Mapa de Interfaz Urbano-Forestal de Navarra

**Bonifaz Barba, Gabriel**<sup>1</sup> **Álvarez-Mozos, Jesús**<sup>1</sup> **González-Audicana, María**<sup>1</sup>  
**Alcasena, Fermín**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Pública de Navarra, España

ORCID: Bonifaz Barba 0000-0002-1344-4917 Álvarez-Mozos 0000-0002-6518-2533 González-Audicana 0000-0002-2430-3853 Alcasena 0000-0002-2007-9487

Correspondencia: [gabriel.bonifaz@unavarra.es](mailto:gabriel.bonifaz@unavarra.es) [jesus.alvarez@unavarra.es](mailto:jesus.alvarez@unavarra.es) [maria.audicana@unavarra.es](mailto:maria.audicana@unavarra.es)  
[fermin.alcasena@unavarra.es](mailto:fermin.alcasena@unavarra.es)

## RESUMEN

La interfaz urbano-forestal es el territorio en el que confluyen la trama urbana y el entorno forestal, y constituye una zona crítica en caso de incendio. Su correcta delimitación es un aspecto clave para la disminución de los riesgos asociados a estos eventos. Navarra carecía de un análisis espacial de estas áreas de interfaz, por lo que el objetivo de este estudio es presentar el mapa detallado de interfaz urbano-forestal para Navarra. Para ello se parte de información vectorial de edificaciones, el mapa de cultivos y aprovechamientos, y métricas LiDAR relacionadas con la altura y estructura de la vegetación. De los 10.391 km<sup>2</sup> de superficie que comprende Navarra, el 0,58% corresponde a zonas altamente urbanizadas, mientras que el 49,15% son áreas caracterizadas por baja densidad de edificaciones o usos agrícolas y el 40,76% a zonas con vegetación arbolada y matorral, sin presencia de edificaciones. En cuanto a la superficie de interfaz urbano-forestal (intermix e interfaz) y rural disperso, el 2,17% corresponde a zonas de interfaz (225,82 km<sup>2</sup>), el 0,59% a zonas intermix (61,54 km<sup>2</sup>) y el 6,73% a áreas de rural disperso (689,81 km<sup>2</sup>). El mapa generado constituye una herramienta objetiva para apoyar la gestión preventiva y planificación forestal que podrá contribuir a la reducción del riesgo de incendios.

**Palabras clave:** *interfaz urbano-forestal, LiDAR, incendios forestales, gestión preventiva, planes preventivos*

Fecha de recepción: 20 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 20 febrero 2026

# Mapa de Interfaz Urbano-Forestal de Navarra

Bonifaz Barba, Gabriel <sup>(1)</sup>, Álvarez-Mozos, Jesús <sup>(1)</sup>, González-Audicana, María <sup>(1)</sup>, Alcasena, Fermín <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad Pública de Navarra, España.

 0000-0002-1344-4917, gabriel.bonifaz@unavarra.es ;  0000-0002-6518-2533, jesus.alvarez@unavarra.es  
 0000-0002-2430-3853, maria.audicana@unavarra.es ;  0000-0002-2007-9487, fermin.alcasena@unavarra.es

**Resumen:** La interfaz urbano-forestal es el territorio en el que confluyen la trama urbana y el entorno forestal, y constituye una zona crítica en caso de incendio. Su correcta delimitación es un aspecto clave para la disminución de los riesgos asociados a estos eventos. Navarra carecía de un análisis espacial de estas áreas de interfaz, por lo que el objetivo de este estudio es presentar el mapa detallado de interfaz urbano-forestal para Navarra. Para ello se parte de información vectorial de edificaciones, el mapa de cultivos y aprovechamientos, y métricas LiDAR relacionadas con la altura y estructura de la vegetación. De los 10.391 km<sup>2</sup> de superficie que comprende Navarra, el 0,58% corresponde a zonas altamente urbanizadas, mientras que el 49,15% son áreas caracterizadas por baja densidad de edificaciones o usos agrícolas y el 40,76% a zonas con vegetación arbolada y matorral, sin presencia de edificaciones. En cuanto a la superficie de interfaz urbano-forestal (intermix e interfaz) y rural disperso, el 2,17% corresponde a zonas de interfaz (225,82 km<sup>2</sup>), el 0,59% a zonas intermix (61,54 km<sup>2</sup>) y el 6,73% a áreas de rural disperso (689,81 km<sup>2</sup>). El mapa generado constituye una herramienta objetiva para apoyar la gestión preventiva y planificación forestal que podrá contribuir a la reducción del riesgo de incendios.

**Palabras clave:** interfaz urbano-forestal, LiDAR, incendios forestales, gestión preventiva, planes preventivos

## ***Mapping Wildland-Urban Interface in Navarre***

**Abstract:** *The wildland-urban interface is the area where the urban fabric and the surrounding wildland vegetation meet, and it constitutes a critical zone in the event of wildfire. Consequently, the accurate delineation and characterization of these interface areas are essential for reducing wildfire-related risks. However, Navarre currently lacks a comprehensive spatial assessment of its wildland-urban interface. The objective of this study was to presents a wildland-urban interface map of Navarre by integrating building footprint polygons, the crop and land use map, and LiDAR-derived vegetation structural metrics, including canopy height and canopy cover. Out of the 10.391 km<sup>2</sup> that comprise Navarre, 0,58% corresponds to highly urbanized areas, whereas 49,15% consists of areas characterized by low building density or agricultural uses, and 40,76% corresponds to areas covered by forest and shrub vegetation without the presence of buildings. Regarding the extent of wildland–urban interface (intermix and interface) and dispersed rural areas, 2,17% corresponds to interface zones (225,82 km<sup>2</sup>), 0,59% to intermix zones (61,54 km<sup>2</sup>), and 6,73% to dispersed rural areas (689,81 km<sup>2</sup>). The resulting map constitutes an objective tool to support preventive management and forest planning, thereby contributing to wildfire risk reduction.*

**Keywords:** *wildland-urban interface, LiDAR, wildfire, mitigation management, prevention planning*

## **1. INTRODUCCIÓN**

La creciente interacción entre las áreas urbanizadas y los ecosistemas forestales ha dado lugar a la expansión del interfaz urbano-forestal (UIF), considerada una de las zonas de mayor riesgo frente a incendios forestales (Schug *et al.*, 2023). En estas zonas, la proximidad entre edificaciones y vegetación incrementa la probabilidad de ignición estructural y dificulta las acciones de prevención y extinción. Además, los cambios en el uso del suelo, el

abandono de áreas rurales y la expansión urbana han contribuido a la desaparición de paisajes fragmentados en mosaico, lo que favorece la continuidad del combustible vegetal cerca de las zonas habitadas.

Durante la campaña de 2002, los grandes incendios ocurridos en Navarra superaron la capacidad de extinción, con más de 17.000 ha quemadas y ocho incendios de más de 250 ha, lo que puso de manifiesto la necesidad de desarrollar un plan específico para

mitigar incendios catastróficos. A pesar del incremento del riesgo, Navarra todavía no dispone de una cartografía base de referencia que permita delimitar de forma homogénea la trama urbana en contacto con los combustibles forestales y que pueda emplearse como soporte para el diseño de planes de autoprotección.

El objetivo de este estudio es elaborar un mapa de la interfaz urbano-forestal con una resolución de 150 m, aplicando una metodología consolidada en la bibliografía científica (Alcasena *et al.*, 2018; Martinuzzi *et al.*, 2015; Schug *et al.*, 2023; Sirca *et al.*, 2017). En este sentido, se distinguen dos tipos de interfaz: el intermix, donde las edificaciones y la vegetación forestal se entremezclan, y la interfaz clásica, donde las edificaciones de una zona urbanizada presentan un límite de contacto bien definido con superficies forestales densas. Además, las zonas de baja densidad de edificaciones en zonas con cobertura forestal son clasificadas como rural disperso. Con esto se pretende cuantificar las superficies de rural disperso, interfaz e intermix, y el porcentaje de edificaciones dentro de cada una de estas zonas. Este producto permitirá delimitar la superficie forestal en el entorno más próximo a las zonas habitadas y servirá como base para la planificación de medidas de gestión y control preventivo.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Datos de edificaciones

La Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA) contiene información vectorial actualizada de las edificaciones en Navarra. Esta capa está compuesta por polígonos georreferenciados que delimitan cada edificación e incluye cerca de 510.000 edificios, tanto residenciales como industriales. Aunque, en base a sus metadatos, su frecuencia de actualización se realiza según sea requerido, su última actualización se realizó el 23/01/2026 (Gobierno de Navarra, DP Economía y Hacienda, 2026).

### 2.2. Datos de vegetación

El Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) de Navarra (2023) muestra la distribución de los tipos de cubiertas dentro de la provincia de Navarra. Entre ellas se observan los cultivos herbáceos y leñosos, zonas improductivas, especies forestales de coníferas, frondosas y matorrales. Esta capa tiene una frecuencia de actualización bianual y se encuentra disponible en IDENA (2023).

### 2.3. Nube de puntos LiDAR

Se utilizaron los datos de la segunda cobertura del proyecto del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, realizada del 8 de septiembre al 16 de noviembre del 2017, disponible en (Gobierno de Navarra, DP Desarrollo Rural y Medio Ambiente, 2017), Para esta cobertura se utilizó una cámara SPL100 con una precisión en XY de 20 cm y en Z de 15 cm, además de una densidad de 10 puntos por m<sup>2</sup>,

Con las nubes de puntos disponibles para Navarra se obtuvo el Modelo Digital de Superficie (MDS) a 10 m de resolución espacial. Esta información permite la caracterización de atributos de la estructura forestal

como la altura de copas. Para obtener la cobertura de vegetación forestal se usó la altura del MDS teniendo en cuenta alturas entre 0,5 m a 3 m para matorrales y superiores a 3 m para arbolado, que coincidan con las cubiertas forestales del MCA.

### 2.4. Delimitación de las zonas de interfaz urbano-forestal

Para la delineación de las zonas de Interfaz Urbano-Forestal (IUF) se integraron datos espaciales de densidad de edificaciones y cobertura forestal (Fig1). Los criterios de referencia usados para el cálculo de densidad de edificaciones, la cobertura forestal, superficie mínima de masas forestales arboladas y la distancia máxima de exposición a transporte de pavesas se adoptaron de estudios previos (Shimada *et al.*, 2014; Alcasena *et al.*, 2018; Schug *et al.*, 2023). Todos los datos fueron integrados y analizados a una resolución espacial de 150 m. Primero, se obtuvo el mapa de densidad de edificaciones utilizando la capa de polígonos de la que se extrajeron los centroides de cada edificación. En estudios similares utilizan los bloques censales como criterio espacial, ya que Navarra no dispone de dicha cartografía, como alternativa se adoptó una malla cuadrangular de 450 m (0,2025 km<sup>2</sup>) como unidad de referencia para el cálculo de la densidad de edificaciones a una resolución de 150 m. Cada cuadrícula se clasificó en las siguientes categorías de densidad: muy baja (< 6,18 edificios/km<sup>2</sup>), baja ( $\geq 6,18$  edificios/km<sup>2</sup> < 49,42 edificios/km<sup>2</sup>), media-alta ( $\geq 49,42$  edificios/km<sup>2</sup>).

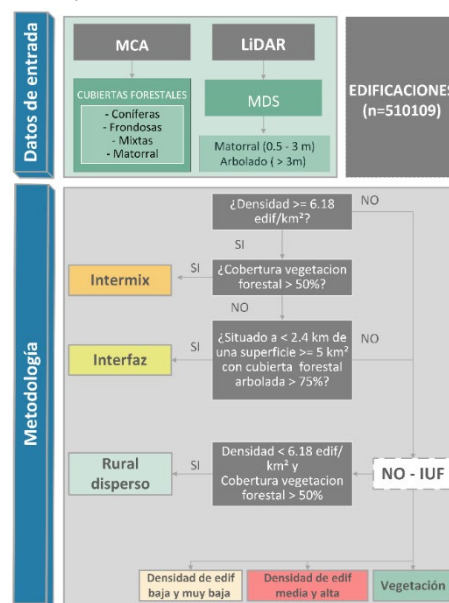


Figura 1. Diagrama aplicado para delimitar la IUF. Adaptado de Martinuzzi *et al.* (2015)

De la cobertura de vegetación forestal (matorral y arbolada), obtenida a través del MDS, se generó una malla cuadrangular de 150 m, y se reclasificó en píxeles de: vegetación forestal (si más del 50% de píxeles son de cubierta forestal) y no-vegetación (si menos del 50% de píxeles son de cubierta forestal). De la misma manera, se obtuvo una malla cuadrangular de 150 m con píxeles de vegetación forestal arbolada (MSD > 3 m), si más del

75% de píxeles son de cubierta forestal arbolada. Posteriormente los píxeles se agruparon en polígonos de masas forestales arboladas y se seleccionaron polígonos forestales con superficie > 5 km<sup>2</sup>, garantizando que se excluyan parques urbanos (Martinuzzi *et al.*, 2015). Estas masas forestales se emplean para identificar las áreas potenciales que, en caso de fuego de copas, pueden originar pavesas capaces de alcanzar la IUF. La interfaz son zonas caracterizadas por una densidad mayor a 6.18 edificios por km<sup>2</sup> pero con presencia de vegetación forestal menor a 50%, que se encuentran a menos de 2.4 km de distancia (distancia máxima de saltos de fuego o pavesas) de una masa forestal arbolada (superficie ≥ 5 km<sup>2</sup>) en la cual la vegetación forestal arbolada cubre más del 75% de su área (Schug *et al.*, 2023). El intermix corresponde a áreas definidas por una densidad de edificaciones mayor a 6,18 edificios por km<sup>2</sup> y una cobertura forestal arbolada igual o superior al 50%. Además, se consideró la categoría rural disperso constituida por áreas con una cobertura vegetal forestal mayor al 50% y una densidad menor a 6,18 edificios por km<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este estudio aplica un marco de análisis geoespacial para caracterizar la distribución de las áreas urbanas densamente pobladas, las zonas rurales dispersas y las áreas de interfaz e intermix. La resolución espacial (150 m) utilizada permitió una representación adecuada de la densidad de edificaciones a nivel local y la delimitación de la interfaz urbano-forestal. En Navarra, la interfaz urbano-forestal presenta una marcada diferenciación territorial, vinculada a la variabilidad espacial de los patrones de asentamiento de los grandes núcleos urbanos y de la trama rural dispersa, así como a la orografía y a la distribución de la vegetación y los combustibles forestales (Fig2).

De los 10.391 km<sup>2</sup> de superficie que comprende Navarra, el 0,58% corresponde a zonas altamente urbanizadas, mientras que el 49,15% son áreas caracterizadas por baja densidad de edificaciones o usos agrícolas y el 40,76% a zonas con vegetación arbolada y matorral, sin presencia de edificaciones. En cuanto a la superficie de interfaz urbano-forestal (intermix e interfaz) y rural disperso, el 2,17% corresponde a zonas de interfaz (225,82 km<sup>2</sup>), el 0,59% a zonas intermix (61,54 km<sup>2</sup>) y el 6,73% a áreas de rural disperso (689,81 km<sup>2</sup>) (Fig3.a). Por otro lado, se observa un mayor porcentaje de edificaciones en el área de interfaz (40,1%) y un menor porcentaje en el intermix y rural disperso (2,2% y 2,1%, respectivamente) (Fig3.b).

En el norte predomina una baja densidad de edificaciones, con asentamientos propios del rural disperso organizados en una trama atomizada de pequeños caseríos y pueblos de reducido tamaño repartidos por el territorio, un patrón que también caracteriza el ámbito pirenaico. Esta configuración genera numerosos puntos de contacto aislados entre edificaciones y vegetación, lo que se traduce en un borde urbano forestal muy fragmentado y en una exposición espacialmente extensa. En consecuencia, la gestión preventiva resulta difícil de abordar con medidas

uniformes y requiere, en gran medida, la implicación directa de los propietarios en la reducción del combustible inmediato y en la mejora de la autoprotección de las viviendas.

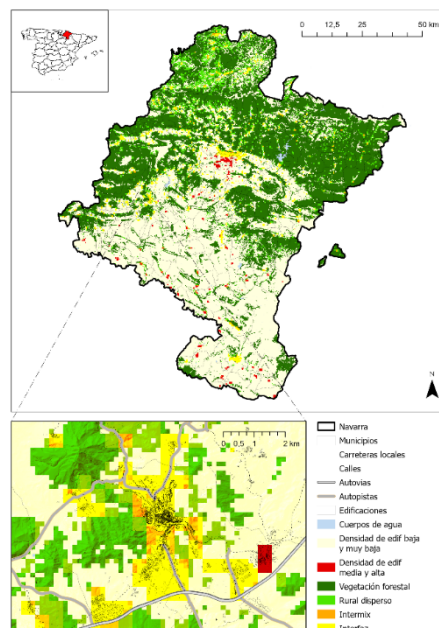


Figura 2. Mapa de interfaz urbano-forestal

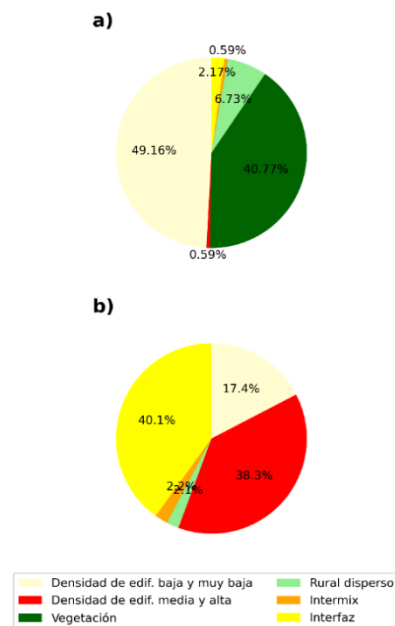


Figura 3. Interfaz urbano-forestal en números. a) Porcentaje de área y b) edificaciones

En la zona central se observa un mayor número de edificaciones por núcleo y una estructura espacial más heterogénea, donde las áreas de intermix e interfaz se distribuyen en un mosaico complejo, que combina laderas con cubierta forestal y fondos de valle dominados por usos agrícolas. En este sector, el intermix se manifiesta como una mezcla estrecha de edificaciones con vegetación forestal mediterránea, con presencia de robledales y encinares junto con

replantaciones de pino laricio y pino carrasco, especialmente en las periferias de los grandes núcleos. En este contexto, el riesgo para las edificaciones se asocia tanto al contacto directo con el combustible cercano como a la proyección de pavesas durante episodios extremos, lo que demanda respuestas coordinadas a escala municipal mediante planes de autoprotección que ordenen y prioricen actuaciones sobre el entorno inmediato. Por su parte, la interfaz se concentra en franjas contiguas a masas forestales más continuas, donde la propagación del incendio desde el medio forestal hacia el entorno urbano presenta un límite claro y una zona de impacto directo, por lo que su delimitación detallada resulta clave para orientar la planificación preventiva. En el sur, la orografía es más suave y los núcleos urbanos tienden a ser de mayor tamaño. Las áreas de interfaz son relativamente escasas y se concentran junto a los principales macizos forestales dominados por repoblaciones protectoras de pino carrasco y, de forma local, en sectores próximos a formaciones de ribera. Este patrón sugiere una exposición más focalizada y, en consecuencia, una mayor eficacia potencial de actuaciones selectivas y priorizadas sobre áreas concretas.

En el marco de la implantación de los Planes de Actuación Municipal ante el Riesgo de Incendios Forestales (PAMIF: OF 222/2016, 16 de junio), el mapa de IUF propuesto podría emplearse como una cartografía de referencia, objetiva y comparable entre municipios, para sustentar la zonificación preventiva y la toma de decisiones. Al aportar una delimitación coherente de las tipologías de interfaz y del rural disperso, facilitaría traducir el diagnóstico territorial a medidas operativas del PAMIF, como la priorización de ámbitos de actuación, la definición de criterios y unidades de gestión para tratamientos de combustible en el entorno de las edificaciones, la planificación de inspecciones y actuaciones de autoprotección, y la orientación de necesidades de señalización y mejora de infraestructuras locales. Además, su integración en los SIG municipales favorecería la trazabilidad y justificación técnica de las medidas, así como su actuación periódica y el seguimiento de su grado de implantación contribuyendo a una aplicación más eficiente y consistente de la prevención frente a incendios forestales y de interfaz de Navarra.

#### 4. CONCLUSIONES

La metodología aplicada permite identificar y caracterizar las zonas de interfaz urbano-forestal en Navarra. Aunque estas áreas representan una proporción relativamente limitada de la superficie total, su relevancia es significativa debido a su elevada exposición al riesgo de incendios forestales y a la potencial afectación sobre infraestructuras y población. El porcentaje de área de rural disperso evidencia la necesidad de considerar no solo los núcleos urbanos consolidados, sino también las edificaciones aisladas y su entorno inmediato en las estrategias de prevención. En este contexto, la integración de información geoespacial de alta resolución, particularmente datos LiDAR para la caracterización estructural de la vegetación, constituye una herramienta eficaz para

delimitar con mayor precisión estas zonas y evaluar su vulnerabilidad. El mapa generado proporciona una base objetiva para el desarrollo de gestión preventiva y planificación forestal que contribuya a la reducción del riesgo de incendios.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Proyecto de investigación: Valorización de residuos forestales para la producción de Biochar y su aplicación en agricultura: avanzando hacia una economía circular en Navarra "PC24-FORESTCHAR-007-002-023", La contribución de Fermín Alcasena fue financiada por el proyecto Talento Senior ANDIA (0011-3947-2022-000001).

#### 6. REFERENCIAS

- Alcasena, F. J., Evers, C. R., & Vega-García, C. (2018). The wildland-urban interface raster dataset of Catalonia. *Data in Brief*, *17*, 124-128. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.12.066>
- Gobierno de Navarra, DP Desarrollo Rural y Medio Ambiente. (2017). *Segunda cobertura LiDAR de Navarra* [Dataset; Laz]. <https://filescartografia.navarra.es>
- Gobierno de Navarra, DP Desarrollo Rural y Medio Ambiente. (2023). *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de Navarra (2023)* (Dataset OCUPAC\_Pol\_MCA\_VE2023) [Esri shapefile]. <https://geoportal.navarra.es>
- Gobierno de Navarra, DP Economía y Hacienda. (2026). *Edificaciones. Recintos de edificación* (Dataset CATAST\_Pol\_Edificacion) [Esri shapefile]. <https://filescartografia.navarra.es>
- Martinuzzi, S., Stewart, S. I., Helmers, D. P., Mockrin, M. H., Hammer, R. B., & Radeloff, V. C. (2015). *The 2010 wildland-urban interface of the conterminous United States* (NRS-RMAP-8; p. NRS-RMAP-8). USDA, Forest Service, Northern Research Station. <https://doi.org/10.2737/NRS-RMAP-8>
- PAMIF: OF 222/2016, Legislation No. OF 222/2016 (16 de junio). <https://www.lexnavarra.navarra.es/detalle.asp?r=37630>
- 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>
- Shimada, M., Itoh, T., Motooka, T., Watanabe, M., Shiraishi, T., Thapa, R., & Lucas, R. (2014). New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007-2010). *Remote Sensing of Environment*, *155*, 13-31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
- Sirca, C., Casula, F., Bouillon, C., García, B. F., Fernández Ramiro, M. M., Molina, B. V., & Spano, D. (2017). A wildfire risk oriented GIS tool for mapping Rural-Urban Interfaces. *Environmental Modelling & Software*, *94*, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.024>