

Pons Fernández, X.; Padial-Iglesias, M.; González-Guerrero, O.; Ninyerola, M. Uso de Modelos Digitales de Alturas para objetivar la cartografía de clasificación de cubiertas del suelo

Uso de Modelos Digitales de Alturas para objetivar la cartografía de clasificación de cubiertas del suelo

Pons Fernández, Xavier¹ **Padial-Iglesias, Mario**² **González-Guerrero, Oscar**³
Ninyerola, Miquel⁴

¹ Grumets Research Group, Departament de Geografia y CREAM, Universitat Autònoma de Barcelona

² Grumets Research Group, CREAM

³ Grumets Research Group, Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona

⁴ Grumets Research Group, Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona

ORCID: Pons Fernández [0000-0002-6924-1641](https://orcid.org/0000-0002-6924-1641) Padial-Iglesias [0000-0002-8173-5353](https://orcid.org/0000-0002-8173-5353) González-Guerrero [0000-0001-8685-5971](https://orcid.org/0000-0001-8685-5971) Ninyerola [0000-0002-1101-0453](https://orcid.org/0000-0002-1101-0453)

Correspondencia: xavier.pons@uab.cat m.padial@creaf.uab.cat Oscar.Gonzalez.Guerrero@uab.cat
Miquel.Ninyerola@uab.cat

RESUMEN

La utilización de Modelos Digitales de Alturas derivados de datos lidar en los procesos de clasificación automática de imágenes de teledetección destinadas a la generación de cartografía de usos y cubiertas del suelo no es nueva, pero normalmente se ha incorporado como covariable en dichos procesos. Por otra parte, las leyendas en dichos mapas suelen incluir clases como “bosque” (o sus subtipos), “matorral”, y categorías similares. Sin embargo, la concreción exacta de lo que significan semánticamente estas categorías es un terreno que se suele dejar al resultado de la propia clasificación, con lo que se echa en falta la posibilidad de una aproximación más cuantitativa. Dicha aproximación es altamente deseable en un contexto en que cada vez es más valorado el control de la fiabilidad y coherencia durante el propio proceso de generación, más allá de los indicadores generales de calidad que resulten de la verificación de resultados en la última fase. Además, cuando el objetivo último es la obtención de mapas en series temporales que permitan el estudio de dinámicas de cubiertas y/o de sus funcionalidades, este rigor garantiza la eliminación de gran parte del ruido en las trayectorias de cambio consideradas. En este trabajo mostramos los criterios que se han seguido para la generación de los Mapas de Usos y Cubiertas quinquenales en el NE peninsular durante las últimas décadas a partir de datos Landsat y Sentinel-2, y se proporciona una primera cuantificación de los beneficios obtenidos.


Palabras clave: MDA, lidar, mapas de usos y cubiertas del suelo, dinámica territorial

Fecha de recepción: 19 febrero 2026 · **Fecha de aceptación:** 19 febrero 2026


Uso de Modelos Digitales de Alturas para objetivar la cartografía de clasificación de cubiertas del suelo

Pons Fernández, Xavier ⁽¹⁾, Padial-Iglesias, Mario ⁽²⁾, González-Guerrero, Oscar ⁽³⁾, Ninyerola, Miquel ⁽⁴⁾


⁽¹⁾ Grumets Research Group, Departament de Geografia y CREAM, Universitat Autònoma de Barcelona.

 0000-0002-6924-1641, xavier.pons@uab.cat


⁽²⁾ Grumets Research Group, CREAM.

 0000-0002-8173-5353, m.padial@creaf.uab.cat

⁽³⁾ Grumets Research Group, Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona.

 0000-0001-8685-5971, Oscar.Gonzalez.Guerrero@uab.cat

⁽⁴⁾ Grumets Research Group, Departament de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona.

 0000-0002-1101-0453, Miquel.Ninyerola@uab.cat

Resumen: La utilización de Modelos Digitales de Alturas derivados de datos lidar en los procesos de clasificación automática de imágenes de teledetección destinadas a la generación de cartografía de usos y cubiertas del suelo no es nueva, pero normalmente se ha incorporado como covariable en dichos procesos. Por otra parte, las leyendas en dichos mapas suelen incluir clases como “bosque” (o sus subtipos), “matorral”, y categorías similares. Sin embargo, la concreción exacta de lo que significan semánticamente estas categorías es un terreno que se suele dejar al resultado de la propia clasificación, con lo que se echa en falta la posibilidad de una aproximación más cuantitativa. Dicha aproximación es altamente deseable en un contexto en que cada vez es más valorado el control de la fiabilidad y coherencia durante el propio proceso de generación, más allá de los indicadores generales de calidad que resulten de la verificación de resultados en la última fase. Además, cuando el objetivo último es la obtención de mapas en series temporales que permitan el estudio de dinámicas de cubiertas y/o de sus funcionalidades, este rigor garantiza la eliminación de gran parte del ruido en las trayectorias de cambio consideradas. En este trabajo mostramos los criterios que se han seguido para la generación de los Mapas de Usos y Cubiertas quinquenales en el NE peninsular durante las últimas décadas a partir de datos Landsat y Sentinel-2, y se proporciona una primera cuantificación de los beneficios obtenidos.

Palabras clave: MDA, lidar, mapas de usos y cubiertas del suelo, dinámica territorial.

English Title: Applying Digital Height Models to enhance the objectivity of land cover classification maps

Abstract: *The use of Digital Height Models derived from lidar data in automatic remote sensing image classification processes aimed at producing land use and land cover maps is not new; however, such information has typically been incorporated merely as a covariate within these workflows. Moreover, the legends of these maps usually include classes such as “forest” (and its subtypes), “shrubland”, and similar categories. Yet the precise semantic definition of these classes is often implicitly delegated to the outcome of the classification itself, thereby limiting the possibility of a more quantitative approach. Such an approach is highly desirable in a context where increasing value is placed on controlling reliability and internal consistency during the map production process, beyond the general quality indicators obtained from final validation. In addition, when the ultimate objective is to generate time series maps enabling the analysis of land cover dynamics and/or their functional attributes, such methodological rigor helps eliminate much of the noise in the resulting change trajectories. In this work, we present the criteria adopted for producing the quinquennial Land Use and Land Cover Maps from Landsat and Sentinel-2 data in the northeastern Iberian Peninsula over recent decades, and an initial quantification of the benefits gained through this approach is provided.*

Keywords: DHM, lidar, land use and land cover maps, land dynamics.

1. INTRODUCCIÓN

La generalización del uso de datos lidar (acrónimo lexicalizado -como lo terminó siendo radar- de *laser detection and ranging*) ha permitido la generación no solamente de Modelos Digitales de Superficies, sino también de Modelos Digitales de Alturas (MDA en adelante). Los datos lidar se producen actualmente con teledetección espacial (como desde ICESat de NASA entre 2003 y 2010, o GEDI desde la Estación Espacial Internacional intermitentemente desde 2018) aunque es más frecuente desde drones y, sobre todo, desde aviones, por su mayor autonomía. En algunos casos las capturas de datos lidar se realizan en áreas relativamente pequeñas (Sibona *et al.*, 2016, Alexander *et al.*, 2018), típicamente a altas resoluciones (de más de 10 puntos/m²), pero en la última década se han realizado también campañas en áreas muy extensas (Kotivuori *et al.*, 2016, en Finlandia, Nilsson *et al.*, 2017, en Suecia, ambos en más de 100 000 km²) pero a resoluciones más modestas (de menos de 1 punto/m²). En este último caso resulta muy destacado el programa lidar del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) en España, ya en su cuarta campaña, y que empezó con una resolución nominal de 0.5 puntos/m² y actualmente se realiza a 5 puntos/m². La relevancia de este programa no solamente radica en su extensa cobertura, sino también en su continuidad como serie temporal, lo que permite incorporar la información derivada en estudios de dinámica territorial.

La disponibilidad de información derivada de datos lidar, y muy particularmente de los MDA en los procesos de clasificación automática de imágenes de teledetección destinadas a la generación de mapas de usos y cubiertas del suelo (MUCS en adelante) no es nueva, pero normalmente se ha incorporado como covariable en dichos procesos (González-Guerrero & Pons 2020). En las leyendas de los MUCS se suelen incluir clases como “bosque” (a veces diferenciando por especies principales, o por grupos de especies, como coníferas, o por su fisionomía, como las frondosas caducifolias, etc), “matorral” o “prados”. Sin embargo, es prácticamente inexistente una concreción exacta de lo que significan semánticamente estas categorías, incluso cuando existe una ampliación descriptiva de la leyenda. En efecto, este es un terreno que se suele dejar al resultado de la propia clasificación, ni que en algunos casos se indique algún valor orientativo de datos de cobertura, etc. Sin embargo, estas explicaciones se basan prácticamente siempre en una aproximación en realidad cualitativa, que no se contrasta de forma cuantitativa en la fase de verificación de resultados (que suele conformarse con indicadores generales como la exactitud de la clasificación desde un punto de vista categórico).

A poco que se desee tener un control de la fiabilidad y coherencia de estos datos, resulta evidente que es necesario acudir a otras fuentes que permitan cuantificar de manera mejor “qué características tiene esta categoría” más allá de un breve texto descriptivo. En este contexto los MDA, convenientemente procesados, pueden proporcionar tal cuantificación, a la vez que

abren la puerta a estudios aún más completos, que incluyan aspectos de estructura vertical de la vegetación (altura, densidad de pies de árboles, estructura interna, etc).

El hecho, ya comentado, que en algunos países los MDA puedan ser multitemporales los convierte de inmediato en un recurso valiosísimo para la objetivación cuantitativa de los MUCS multitemporales. Con ello se puede conseguir, como objetivo último, la obtención de mapas en series temporales que permitan el estudio de dinámicas de cubiertas y/o de sus funcionalidades, habiendo eliminado gran parte del ruido en las trayectorias de cambio consideradas.

En este trabajo mostramos los criterios que se han seguido para la generación de los MUCS quinquenales en el NE peninsular durante las últimas décadas a partir de datos Landsat y Sentinel-2, y se proporciona una primera cuantificación de los beneficios obtenidos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Obtención del MDA multitemporal y de sus metadatos espacializados

La obtención del MDA multitemporal se describe con todo detalle en Pons *et al.*, (2025). En esencia se parte de los datos lidar PNOA (lidarCat en Cataluña) que, combinados con otros datos procedentes de teledetección (mapas de pendientes, de cubiertas, ortofotografías infrarrojo color, etc) permiten obtener la altura sobre el terreno en todo el territorio cada 2x2 m². Como información complementaria de gran interés, el MDA se proporciona, a la misma resolución espacial, acompañado de la información del origen (10 clases) y la fiabilidad estimada de cada dato de altura. Además, para cada celda se proporciona el día, mes y año del punto lidar que ha sido utilizado en ella. Gracias a esta información tan detallada espacialmente es posible relacionar de forma muy precisa las alturas del MDA y los resultados de la clasificación, evitando que, por ejemplo, un incendio o una tala posteriores a las imágenes de teledetección, pero anteriores al vuelo lidar pudieran llevar a una interpretación errónea del cruce de datos. Dichos MDA se encuentran disponibles para su exploración y descarga gratuita en <https://lidarteam.grumets.cat/>.

2.2. Obtención de los MUCS

La obtención de los MUCS se describe con todo detalle en los trabajos de González-Guerrero Pons *et al.*, (2020), Padial-Iglesias *et al.* (2021, 2022). En esencia se parte de imágenes Landsat o Sentinel-2, según el quinquenio de la serie multitemporal a obtener, y junto con información auxiliar de orografía, alturas, etc, se aplica una clasificación k-NN en la implementación del *software* gratuito [MiraMon](#) (Pons, 2026), que además de paralelización permite diversas sofisticaciones para un control óptimo de los resultados. Dichos mapas, de 24 categorías y 30 m de resolución cuando se obtienen de imágenes Landsat, y de 25 categorías y de 10 m y 30 m de resolución cuando se obtienen de imágenes

Sentinel-2, se encuentran disponibles para su exploración y descarga gratuita en <https://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/bases-cartografiques/usos-sol-subsol/usos-sol/index.html>

2.3. Combinación de los MDA con los MUCS

La utilización de la información de los MDA para dar consistencia cuantitativa a las categorías puede realizarse de diversas maneras. En la presente comunicación nos ceñiremos a cubiertas naturales resumidas en 3 categorías: bosques, matorrales y prados (que resultan de la reclasificación de 3 categorías de la leyenda original en el primer caso, y de otras 3 categorías en el último caso). Los filtros proporcionados por los datos MDA han consistido en los siguientes procesos:

2.3.1. Tratamiento de la categoría prados:

Mediante la aplicación [CanviRes](#) de MiraMon se procedió al cambio de resolución del MDA siguiendo un criterio de mediana. La resolución de salida (10 m o 30 m) así como el MDA utilizado dependen de la fecha del MUCS analizado.

A continuación, cualquier celda clasificada como bosque, matorral o prado en el MUCS con una altura mediana inferior o igual a 60 cm se reclasificó como prado. El valor de 60 cm se escogió porque los histogramas de valores de las celdas clasificadas como prados originalmente mostraban como verosímil este valor con la idea fisionómica de altura máxima de un prado.

2.3.2. Tratamiento de bosques y matorrales:

a) Cálculo de la densidad de árboles:

A partir del estudio de los histogramas de las alturas de las celdas clasificadas como bosque en los distintos MUCS se establece como razonable la altura de 2 m para considerar que un elemento es un árbol. De la misma manera, se considera bosque una celda del MUCS siempre que tenga una densidad mínima de árboles del 50 %. Esta densidad se calcula según el siguiente procedimiento:

En primer lugar, teniendo en cuenta que cada celda del MDA (de 2x2 m²) contiene el valor de Z máxima de los puntos lidar en ella, se consideran pies todas las celdas del MDA con altura superior o igual a 2 m. Así pues, mediante la herramienta [IMGPNT](#), la cual permite exportar a puntos sólo aquellas que cumplan una cierta condición, se convirtieron a puntos todas aquellas celdas de 2 m de lado del MDA con altura superior o igual a 2 m.

A continuación, se procedió al cálculo de la densidad utilizando la opción de estadísticas de vecindad de la herramienta [InterPNT](#) indicando que se deseaba contar el número de puntos en el interior de las celdas del tamaño de los MUCS a analizar (30 y 10 m). De esta forma se obtuvo un ráster en que, para cada celda, se conoce “cuántos árboles hay”.

b) Reasignación de las categorías bosque y matorral:

El uso de estadísticos de centralidad de todas las alturas, e incluso de dispersión intracelda no permiten una aproximación conveniente al concepto cultural y fisionómico de bosque ya que, por ejemplo, un solo árbol muy alto no debería convertir una celda en bosque. Lo que define, pues, un bosque queda estipulado por la densidad de elementos altos, dato que no resulta desvirtuado si los árboles tienen mayor o menor altura (siempre que superen los 2 m);

En este estudio, una densidad de más de la mitad de los árboles en una celda se ha establecido como adecuada para considerar que se trata de un bosque en el MUCS. En otros términos, un 50 % de árboles por celda representan un mínimo de 112 árboles en las celdas de 30 m y más de 12 en las celdas de 10 m.

Así pues, todas aquellas celdas clasificadas en el MUCS como prados bosque o matorral que se correspondían con celdas con una densidad de árboles calculada a partir del MDA más cercano temporalmente superior o igual al 50 % fueron reasignadas automáticamente a bosque.

Finalmente, para la categoría de matorrales se utilizó la misma información para garantizar que las celdas clasificadas como matorral no presentaban más del 50 % de árboles y, por tanto, son asimilables a formaciones claramente abiertas como bosques claros y/o matorrales. Como el resultado de las clasificaciones ya era satisfactorio para esta clase, no se evitó “limitar” los matorrales por su altura mínima puesto que en las formaciones de matorrales bajos mediterráneos es controvertido definir dicho umbral.

3. RESULTADOS

La aplicación de los métodos descritos ha permitido generar máscaras de corrección a las categorías indicadas en este trabajo. La superficie corregida ha sido mayor en los mapas obtenidos con datos Landsat que, por su menor resolución espacial y radiométrica, contenían un mayor número de confusiones (5.31 %, promedio de los quinquenios 2007 y 2012) que los mapas obtenidos con Sentinel-2 (2.91 %, promedio de los quinquenios 2017 y 2022).

En el panel superior de la Figura 1 se puede apreciar, en color azul, un ejemplo de una zona erróneamente clasificada como matorral en el MUCS de 2012, mostrada sobre la ortofoto IRC del mismo año. En el panel inferior, donde no se muestra la máscara azul, se ve claramente que son zonas de bosque donde los datos lidar nos aseguran que en cada celda más del 50 % de la superficie presenta árboles con altura ≥ 2 m.



Figura 1. Zona de matorral a corregir (en azul, panel superior) a bosque (panel inferior) en el MUCS de 2012 gracias a la información del MDA. Ortofotografía IRC distribuida por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

4. CONCLUSIONES

La combinación de MDA con MUCS permite detectar problemas de frontera entre clases como prado, matorral y bosque con un criterio objetivo que da un valor cuantitativo sin precedentes a la definición de estas clases en cartografía de usos y cubiertas del suelo. Este grado superior de certidumbre permitirá una muy superior robustez en el análisis de las dinámicas de los usos y cubiertas del suelo, al tiempo que permitirá estudios más detallados de cambios de funcionalidad real en los ecosistemas terrestres.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a las subvenciones del SGR (Grupos de Investigación Consolidados y de Calidad de la Generalitat de Catalunya, SGR-2021-00554), del proyecto DynaFun (PID2023-152719OB-C21-MCIU/AEI/ERDF,EU) y de la Secretaria de Transició

Ecològica de la Generalitat de Catalunya. También deseamos destacar la política de datos abiertos tanto del Instituto Geográfico Nacional (IGN) como del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). Xavier Pons es beneficiario de una ayuda ICREA-Academia a la Excelencia en Investigación (2023-2027).

6. REFERENCIAS

- Alexander, C., Korstjens, A.H., & Hill, R.A. (2018) Influence of Micro-Topography and Crown Characteristics on Tree Height Estimations in Tropical Forests Based on LiDAR Canopy Height Models. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 65: 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.009>
- González-Guerrero, O., & Pons, X. (2020). The 2017 Land Use/Land Cover Map of Catalonia based on Sentinel-2 images and auxiliary data. *Revista de Teledetecció*, 55: 81-92. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13112>
- Kotivuori, E., Korhonen, L., & Packalen, P. (2016) Nationwide Airborne Laser Scanning Based Models for Volume, Biomass and Dominant Height in Finland. *Silva Fennica*, 50: 1567. <https://doi.org/10.14214/sf.1567>
- Nilsson, M., Nordkvist, K., Jonzén, J., Lindgren, N., Axensten, P., Wallerman, J., Egberth, M., Larsson, S., Nilsson, L., Eriksson, J., & Olson, H. (2017) A Nationwide Forest Attribute Map of Sweden Predicted Using Airborne Laser Scanning Data and Field Data from the National Forest Inventory. *Remote Sens. Environ.* 194: 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.022>
- Padial-Iglesias, M., Serra, P., Ninyerola, M., & Pons, X. (2021) A Framework of Filtering Rules over Ground Truth Samples to Achieve Higher Accuracy in Land Cover Maps. *Remote Sensing* 13 (14): 2662. <https://doi.org/10.3390/rs13142662>
- Padial-Iglesias, M., Ninyerola, M., Serra, P., González-Guerrero, O., Espelta, J.M., Pino, J., & Pons, X. (2022) Driving Forces of Forest Expansion Dynamics across the Iberian Peninsula (1987-2017): A Spatio-Temporal Transect. *Forests* 13 (3): 475. <https://doi.org/10.3390/f13030475>
- Pons, X., González-Guerrero, O., Masó, J., Zabala, A., Serral, I., & Ninyerola, M. (2025). LidarTeam: a remote sensing driven method for massive lidar data to regional DHM refined through user feedback. *International Journal of Digital Earth*, 18(2): 2562051. <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2562051>
- Pons, X. (2026) MiraMon. Geographic Information System and Remote Sensing Software. Bellaterra: CREA. https://www.miramon.cat/Index_spa.htm
- Sibona, E., Vitali, A., Meloni, F., Caffo, L., Dotta, A., Lingua, E., Motta, R., & Garbarino, M. (2017) Direct Measurement of Tree Height Provides Different Results on the Assessment of LiDAR Accuracy. *Forests* 8: 7. <https://doi.org/10.3390/f8010007>