

# Automatización de la monitorización de los recursos forestales de Asturias desde el espacio

Iyán Tejjido-Murias, Carlos A. López-Sánchez y Marcos Barrio-Anta

Grupo de Investigación SmartForest. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

## Introducción

El conocimiento y el control de la superficie ocupada por las masas forestales del Principado de Asturias es esencial, tanto desde el punto de vista ecológico, como económico. Esto precisa de la actualización constante de la superficie ocupada por cada especie que, junto con la actualización de las existencias maderables en cada zona, permiten conocer el recurso disponible de máxima actualidad. Diferentes parámetros forestales como superficie ocupada, volumen total o biomasa existente en una determinada área, posee un gran interés para diferentes partes implicadas en la gestión forestal; asociaciones, gestores, propietarios, ayuntamientos, comunidades, etc. La usabilidad de los productos que describen estos parámetros depende de tres factores principales: i) ser actualizables en el tiempo, ii) tener un coste de adquisición / elaboración económicamente viable y iii) obtener una precisión adecuada para la escala de trabajo. Tradicionalmente, estos parámetros a escala municipal o regional se han obtenido a través del Inventario Forestal Nacional (IFN), mediante el replanteo y medición de parcelas de inventario y la fotointerpretación de las coberturas arboladas. Aunque se trata de un activo de gran valor, su coste de actualización es elevado. En los últimos años, diversos estudios se han centrado en explorar la utilidad de datos satelitales de acceso abierto para proporcionar clasificaciones y estimaciones de diferentes variables forestales. Gracias a la posición colaborativa que las diferentes agencias espaciales han tomado abriendo sus repositorios históricos o proyectando misiones con datos en abierto, la utilización de imágenes adquiridas mediante teledetección en el sector forestal se ha incrementado exponencialmente. A su vez, la mejora de los sistemas informáticos ha permitido diseñar herramientas de análisis con capacidad para procesar grandes cantidades de datos (Big Data) en la nube mediante aplicaciones cliente-servidor. Estas herramientas permiten, por un lado, acceder a extensos repositorios de imágenes satelitales y otros datos auxiliares y, por otro lado, realizar los análisis geoespaciales. Combinando datos de campo con imágenes satélite en herramientas de computación en la nube se pueden obtener productos actualizables y espacialmente continuos de una variable forestal concreta.

## El programa Copernicus - Constelaciones Sentinel

Copernicus es el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea, con un conjunto de satélites propios (las familias Sentinel), complementados con misiones participantes (otros satélites comerciales o públicos en órbita). Son de especial interés para el sector forestal las constelaciones Sentinel-1 y Sentinel-2.

## DIFUSIÓN



En 2014 se inicia la misión Sentinel-1 comprendida una constelación de dos satélites (Sentinel-1A, 2014; Sentinel-1B, 2016) que generan imágenes de radar de apertura sintética en banda C con una resolución temporal inicial de 5 días (actualmente S-1B no está operativo).



FIGURA 1. SATÉLITES S-2 (ARRIBA) Y S-1 (ABAJO)



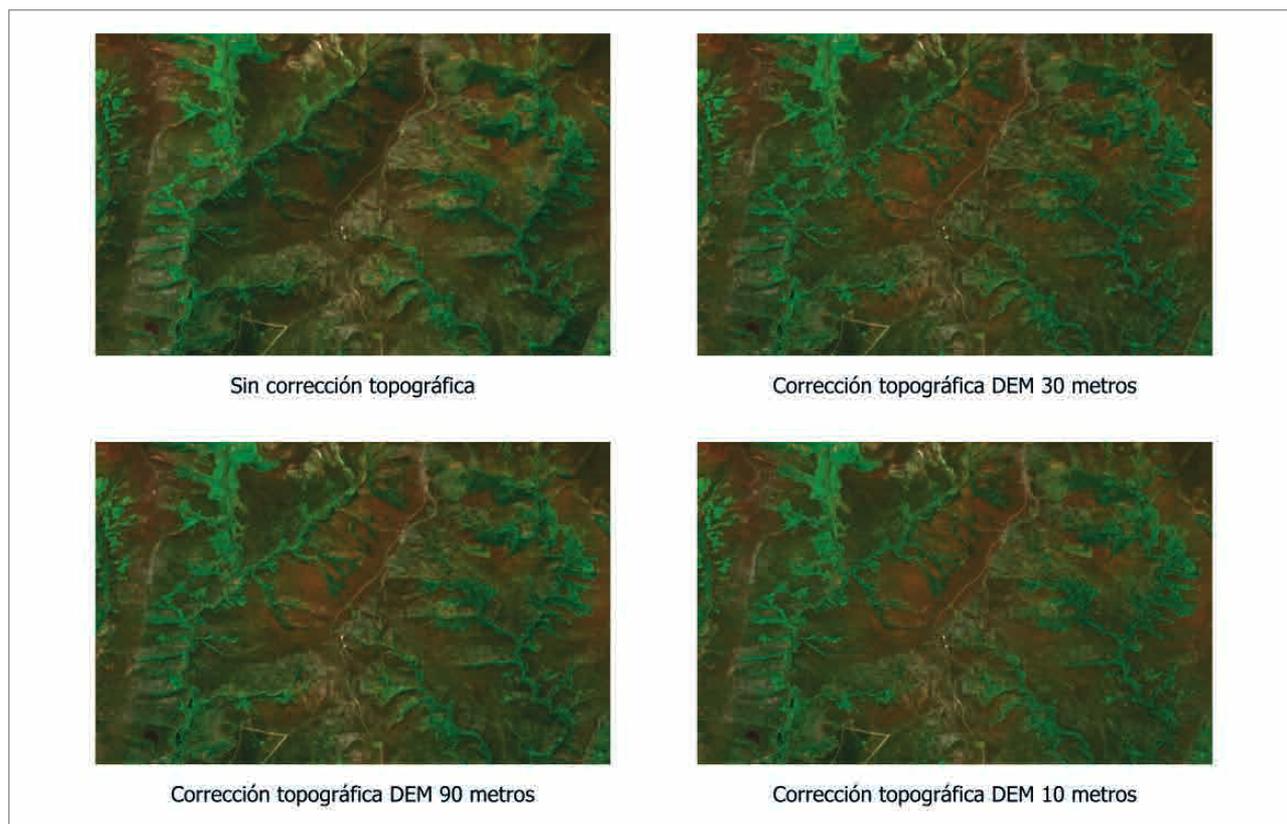


FIGURA 2. CORRECCIONES TOPOGRÁFICAS CON MDT DE DIFERENTE RESOLUCIÓN ESPACIAL

Desde 2017 se dispone de dos satélites de la constelación Sentinel-2, el S-2A (puesto en órbita en 2015) y el S-2B (en 2017) con trece bandas espectrales de alta resolución espacial que, combinados, proporcionan una resolución temporal de 5 días. Ambos sensores (Figura 1) son de especial interés para el sector forestal pudiéndose encontrar múltiple bibliografía donde se emplean para: i) clasificación de coberturas (Wulder et al., 2018; Phiri et al., 2020), ii) estimación del recurso forestal (Guerra-Hernández et al., (2022); y iii) detección de perturbaciones (Waldeland et al., 2022). La utilización de estas imágenes tiene ciertas limitaciones en la región noroeste de España debido a la orografía (Sentinel-1 y Sentinel-2) y la nubosidad (Sentinel-2). La orografía causa un efecto negativo en la teledetección óptica conocido como efecto del sombreado topográfico, siendo diferente la medición obtenida en las zonas de solana versus las de umbría. El sensor capta la radiancia del sol reflejada por la cubierta; cuando la luz del sol incide de manera directa con un determinado ángulo, para una determinada pendiente y orientación se obtiene una medición, que puede variar en mayor o menor medida cuando la misma cubierta presenta otro nivel de exposición. Este efecto puede corregirse mediante la utilización de diferentes técnicas denominadas correcciones topográficas que buscan minimizar el efecto de la topografía a partir del ángulo de iluminación (sol), adquisición (satélite), pendiente y orientación (terreno). Para ello se requiere un Modelo Digital del Terreno donde la resolución espacial de este influirá en mayor o menor medida en el efecto de las correcciones (Ilustración 2). Un proceso similar es requerido en las imágenes obtenidas a partir del sensor Sentinel-1 para eliminar el efecto de la topografía.

Por otro lado, el norte peninsular se caracteriza por tener una abundante presencia de nubes que reducen en un elevado porcentaje el número de imágenes ópticas satelitales disponibles. Al trabajar con imágenes con una alta resolución temporal, es posible disponer de un número adecuado de imágenes. Esto, sumado a la capacidad que tienen los sensores radar de no verse influidos por la nubosidad, permite disponer de una continuidad temporal de imágenes. La combinación de ambos sensores, bajo un enfoque multisensor, parece una de las mejores alternativas para obtener información actualizada mensualmente de la región y poder conocer de manera automática las superficies que ocupan las diferentes coberturas forestales.

#### Clasificación de masas forestales arboladas

A fecha actual, el único método de actualización de la superficie de las masas forestales de la región es el Mapa Forestal de España (MFE) que se realiza con una periodicidad de 10 años. Sin embargo, la intensa actividad maderera de la zona atlántica, que aprovecha en promedio  $948189 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  solamente en la provincia de Asturias (datos de los últimos 17 años); así como la gran atomización y minifundismo de la propiedad forestal, hace que las superficies ocupadas por las especies productivas sufran importantes variaciones de un año para otro. Es por ello, que son indispensables herramientas automáticas de actualización de la superficie forestal que reduzcan la resolución temporal de la misma. Para desarrollar este tipo de clasificaciones supervisadas, es decir, cuando conocemos a priori los tipos de uso que deseamos modelizar (Chuvienco, 1991) se requiere de una base de datos de campo. Con este objetivo, y a partir de diferentes fuentes de datos públicas y su fotointerpretación, se obtuvieron aproximada-

# IMONTE III DIFUSIÓN

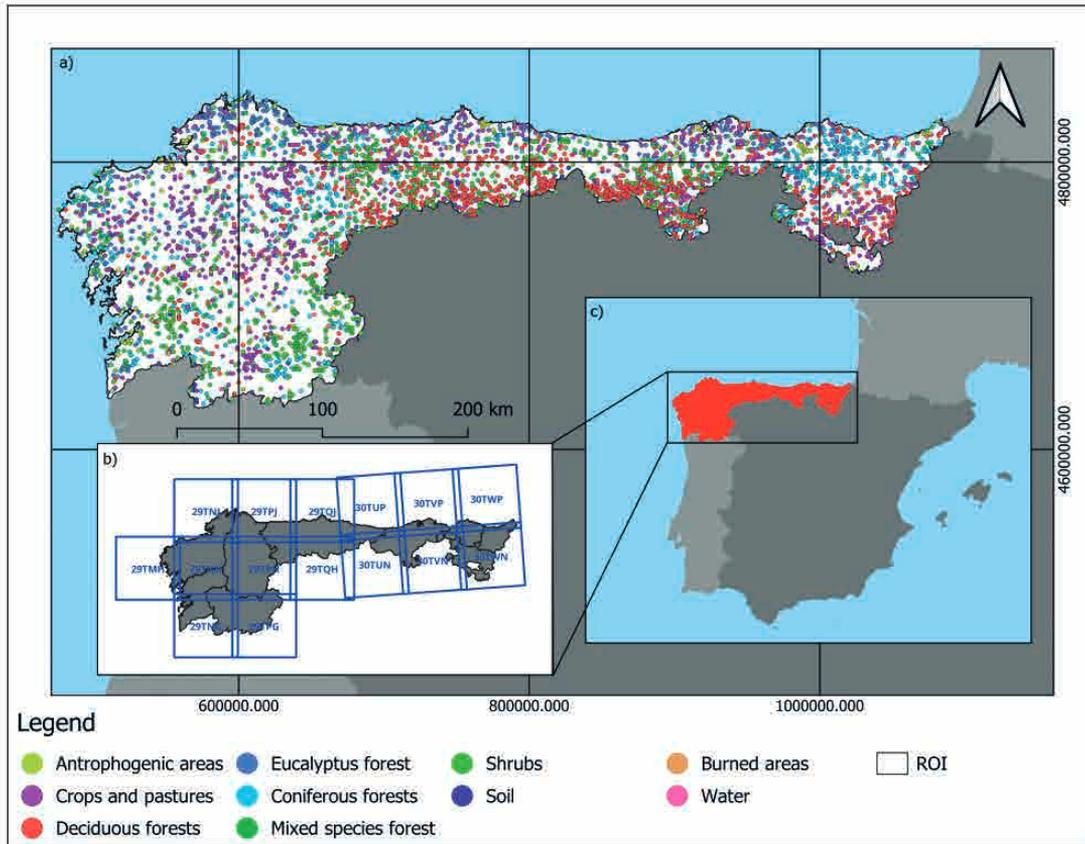


FIGURA 3. MAPA CON LAS PARCELAS PARA LAS PRINCIPALES CLASES DE USO

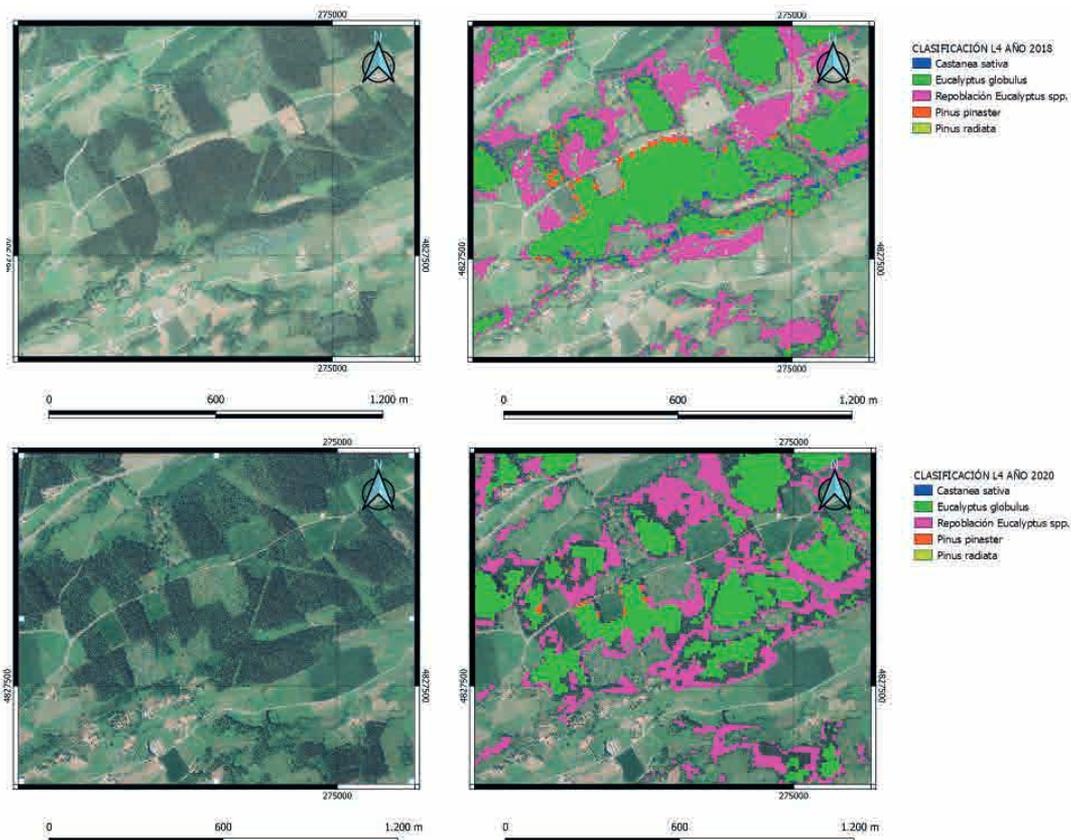


FIGURA 4. MAPAS DE COBERTURAS PARA LAS ESPECIES DE INTERÉS, EL MISMO MODELO HA SIDO APLICADO EN AÑOS DIFERENTES

mente 3000 parcelas de campo para modelizar las diferentes clases de uso en la zona atlántica española (Figura 3).

En la Figura 4 se observa el modelo preliminar generado para Asturias aplicado para las imágenes del año de ajuste (2018) y para imágenes del año 2020 en la misma área. Este proceso puede ser replicado de manera anual de forma automática a medida que se vayan obteniendo series temporales de imágenes satelitales (Teijido-Murias et al., 2023).

### Estimación de variables de producción

Existen diversos trabajos que tratan de obtener estimaciones de las diferentes variables dasométricas a partir de diferentes datos de teledetección como; óptico: Cheysalfis et al. (2017), Astola et al (2019); Radar; Lei y Siqueira (2014), Chen et al. (2016) o LiDAR; González-Ferreiro et al. (2017), Novo-Fernández et al. (2019), siendo este último el que mejores estimaciones proporciona, aunque su resolución temporal depende de diferentes organismos y suele estar, como mínimo, en 5 años. La mejora de estos productos de estimación de recursos forestales para que sean actualizados anualmente de manera automática pasará por 2 opciones; i) el desarrollo de la ciencia, que coloque en órbita un sensor LiDAR que genere productos espacialmente continuos con una resolución óptima para el análisis de masas forestales o ii) un aumento de los vuelos ALS (nacionales o regionales), que permitan disponer de una cobertura continua de forma anual o bianual. Hasta que la ciencia, o los presupuestos, lleguen al final de uno de estos dos caminos, la utilización de las imágenes satelitales del programa Copernicus es una de las fuentes de información más económica y precisa a la que se puede recurrir para la estimación de diferentes variables forestales.

### Estado actual de los modelos de estimación del recurso forestal

El grupo SmartForest ha desarrollado actualmente para tres especies comerciales del Principado de Asturias (*P. pinaster*, *P. radiata* y *E. globulus*) dos tipos de modelos de producción de volumen y biomasa: i) modelos basados en datos PNOA-Lidar, y ii) modelos basados en radiometría de Sentinel-2. El "recorte" de las capas ráster proporcionadas por estos modelos con las capas de máxima actualidad de la clasificación automática de sus superficies (en proceso de elaboración) permitirá la actualización anual o incluso semestral del recurso forestal disponible.

### Bibliografía

- Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M., y Kilpi, J. (2019). Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. *Remote Sensing of Environment*, 223, 257-273.
- Caparros-Santiago, J. A., Quesada-Ruiz, L. C., y Rodríguez-Galiano, V. (2023). Can land surface phenology from Sentinel-2 time-series be used as an indicator of Macaronesian ecosystem dynamics. *Ecological Informatics*, 77, 102239.
- Chen, H., Cloude, S. R., y Goodenough, D. G. (2016). Forest canopy height estimation using Tandem-X coherence data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(7), 3177-3188.
- Chrysafis, I., Mallinis, G., Siachalou, S., y Patias, P. (2017). Assessing the relationships between growing stock volume and Sentinel-2 imagery in a Mediterranean forest ecosystem. *Remote Sensing Letters*, 8(6), 508-517.
- Chuvioco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.
- González-Ferreiro, E., Arellano-Pérez, S., Castedo-Dorado, F., Hevia, A., Vega, J. A., Vega-Nieva, D., ... y Ruiz-González, A. D. (2017). Modelling the vertical distribution of canopy fuel load using national forest inventory and low-density airborne laser scanning data. *PLoS One*, 12(4), e0176114.
- Guerra-Hernández, J., Narine, L. L., Pascual, A., Gonzalez-Ferreiro, E., Botequim, B., Malambo, L., y Godinho, S. (2022). Aboveground biomass mapping by integrating ICESat-2, SENTINEL-1, SENTINEL-2, ALOS2/PALSAR2, and topographic information in Mediterranean forests. *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 1509-1533.
- Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., & Coops, N. C. (2022). Land cover classification in an era of big and open data: Optimizing localized implementation and training data selection to improve mapping outcomes. *Remote Sensing of Environment*, 268, 112780.
- Lei, Y., y Siqueira, P. (2014). Estimation of forest height using spaceborne repeat-pass L-band InSAR correlation magnitude over the US state of Maine. *Remote Sensing*, 6(11), 10252-10285.
- Novo-Fernández, A., Barrio-Anta, M., Recondo, C., Cámara-Obregón, A., y López-Sánchez, C. A. (2019). Integration of national forest inventory and nationwide airborne laser scanning data to improve forest yield predictions in north-western Spain. *Remote Sensing*, 11(14), 1693.
- MARM. Cuarto Inventario Forestal Nacional. Principado de Asturias; Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal: Madrid, Spain, 2012.
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., y Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291.
- Teijido-Murias, I., Barrio-Anta, M., y López-Sánchez, C. A. (2023). Clasificación automática de coberturas forestales a partir de imágenes Sentinel-2 y datos auxiliares mediante Google Earth Engine. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Waldeland, A. U., Trier, Ø. D., y Salberg, A. B. (2022). Forest mapping and monitoring in Africa using Sentinel-2 data and deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111, 102840.
- Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254-4284.