



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1516

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Control de cortas para el cumplimiento EUDR a partir de datos satelitales

PÉREZ-RODRÍGUEZ, F. (1), ANTÓN ANGULO, J. (1), ALONSO PONCE, R. (1,2), BARRERA DEL AMO, C. (1), Y LIZARRALDE, I. (1,2)

(1) Fora Forest Technologies SLL, Campus Duques de Soria s/n, 42004 Soria.

(2) Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible iuFOR.

Resumen

Las nuevas normativas a nivel nacional e internacional promueven monitorizar las cortas de madera para, con ello, minimizar los posibles escenarios de ilegalidad. La más relevante es la EUDR, que establece de manera implícita la utilización de Sentinel-2 para monitorización de cortas. Sentinel-2 ofrece muchas ventajas, como la frecuencia de adquisición de datos. Sin embargo, tiene la desventaja de que, al ser un sensor pasivo, es afectado por la climatología u otras perturbaciones que afectan a la interpretación de los datos, resultando en numerosos falsos positivos. En este estudio se ha desarrollado una metodología para minimizar esos falsos positivos. Para ello, se establecen dos metodologías en paralelo que se fusionan al final del proceso. La primera de ellas se basa en un complejo árbol de decisiones espacio-temporal, en el que se define la probabilidad de corta teniendo en cuenta las inclemencias climatológicas, utilizando todas las escenas Sentinel disponibles y actualizadas. En paralelo, se aplica Superresolución y generación de mosaicos libres de nubes mensuales, que ayudan a que la metodología de árbol de decisiones sea validada. Estas dos metodologías se han automatizado con diversos softwares, y han sido validadas en Galicia, integrándolas en su sistema informático de gestión de aprovechamientos forestales.

Palabras clave

Satélite, Monitorización, Sentinel-2, Desarrollo software

1. Introducción

El Reglamento EUDR (Regulación de la deforestación de la UE, en sus siglas en inglés) es un reglamento que marca las obligaciones para la introducción y comercialización en la Unión Europea, así como a la exportación desde la Unión de ciertos productos. El Anexo I de la norma lista los productos que quedan afectados, entre los que se encuentra la madera. Así, el reglamento EUDR regula la introducción, comercialización y exportación de madera en la UE. Con esta norma, se busca reducir al mínimo la contribución de la Unión a la deforestación y la degradación forestal mundial.

Uno de los aspectos clave del reglamento es que propone la monitorización de los sistemas forestales mediante el uso de imágenes de satélite, lo que concuerda con el sistema desarrollado que se presenta aquí. A pesar de que las negociaciones entre los países han dado lugar a una moratoria a su fecha límite de cumplimiento (finales de 2025 para los países miembros y grandes y medianas empresas; y mediados de 2026 para las pequeñas empresas), lo cierto es que la regulación está



en vigor desde junio de 2023 y sistemas como el que presenta este trabajo ya permite el cumplimiento del reglamento.

Para el cumplimiento de esta EUDR se especifica, entre otras cosas, la utilización de Sentinel-2 (COPERNICUS PROGRAMME, 2023) para la monitorización. Esta constelación Sentinel-2 del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA) dispone periódicamente de información multiespectral, lo que favorece, entre otros, el desarrollo de metodologías de inteligencia artificial para clasificaciones automáticas (PUERTA TUESTA et al, 2023; CHOI ET AL.,2024; GENÇ & ALTUNEL, 2025; GIAMBELLUCA et al. 2025), con el uso de índices multiespectrales como el NDVI (LASTOVICKA et al, 2020). En este trabajo utilizaremos estos datos abiertos para monitorizar aprovechamientos forestales.

2. Objetivos

Con este trabajo se ha propuesto el objetivo de automatizar la detección de cortas a hecho usando los datos abiertos de Sentinel-2.

3. Metodología

La metodología propuesta consta de dos componentes principales, que se desarrollan de manera complementaria pero independiente. En primer lugar, se implementa una clasificación no supervisada píxel a píxel utilizando todos los datos disponibles para un área específica, actualizando los resultados cada vez que se dispone de una nueva escena satelital. En segundo lugar, se generan mosaicos mensuales libres de nubes con superresolución, sobre los cuales se aplica también una clasificación no supervisada. A continuación, se describen en detalle ambas partes.

Primera parte: Clasificación píxel a píxel: En esta fase, se utiliza el índice NDVI (derivado de las bandas B4 y B8 con una resolución espacial de 10 metros) para realizar un análisis espacio-temporal escena a escena y píxel a píxel. Trabajos como LÓPEZ-AMOEDO et al 2021 usan y recomiendan este índice multiespectral para ello. Los datos disponibles para la región de estudio tienen una frecuencia de adquisición de aproximadamente 5-6 días. Sin embargo, se configura el sistema para evitar la descarga de escenas con más del 90% de nubosidad. Aunque las escenas seleccionadas pueden contener nubes en menor proporción, estas podrían afectar parcial o totalmente el área de estudio.

En esta etapa, se identifican regiones basadas en criterios predefinidos de la metodología: i) Una disminución rápida y significativa del NDVI; ii) Ausencia de recurrencia temporal de dicha disminución y iii) Persistencia de la disminución en el tiempo (ver ejemplo en la Figura 1). El resultado de este análisis proporciona un conjunto de regiones candidatas a ser evaluadas en las siguientes etapas.

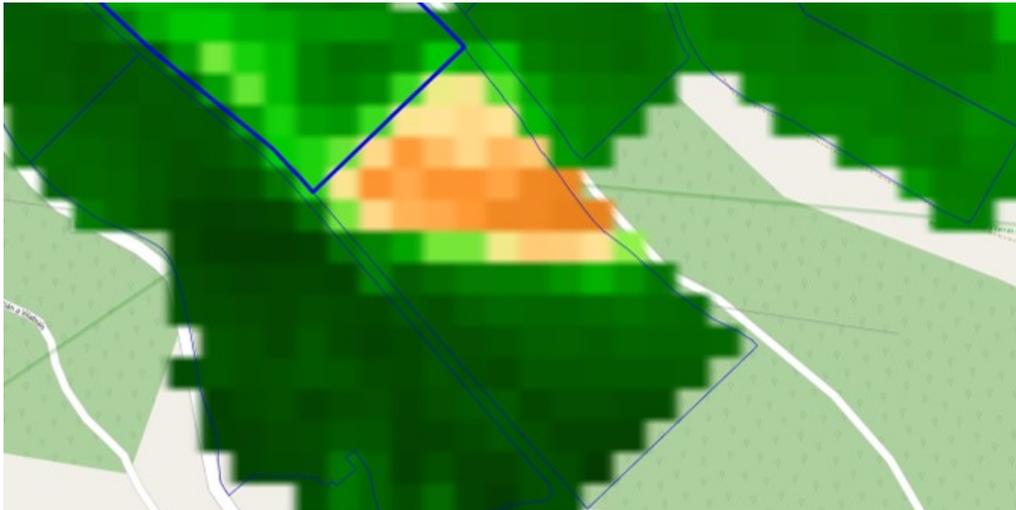


Figura 1: Ejemplo de posible corta al detectar en una escena una reducción rápida de NDVI. Esta región pasa a tener una probabilidad de corta, que tendrá que ser contrastada posteriormente.

Segunda parte: Generación de mosaicos libres de nubes y superresolución:

De manera independiente, se realiza un procesamiento avanzado de las imágenes Sentinel-2 para generar mosaicos mensuales libres de nubes. Este proceso incluye técnicas de detección y eliminación de nubes, combinadas con interpolaciones temporales que aseguran una cobertura uniforme y de alta calidad. Además, se aplican algoritmos de superresolución que mejoran la resolución espacial de todas las bandas a 10 metros. Esto permite un análisis más detallado de las características del terreno y la vegetación, optimizando tanto la calidad visual como la precisión analítica de las imágenes.

Este enfoque tiene múltiples aplicaciones, como la monitorización ambiental, la gestión forestal y el seguimiento de cambios en ecosistemas complejos. Además, los mosaicos generados se utilizan para implementar un flujo de detección de cortas, que incluye los siguientes pasos: i) Codificación de estados: Cada píxel del ráster se clasifica en uno de los siguientes estados: sin interés, suelo desnudo, vegetación o sin datos; ii) Comparación temporal: Se comparan rásteres consecutivos en la serie temporal. Los píxeles que cambian de vegetación a suelo desnudo se clasifican como "corta confirmada", mientras que los que cambian de vegetación a sin datos se etiquetan como "corta potencial". Un píxel clasificado como corta potencial se confirma si pasa posteriormente de sin datos a suelo desnudo. Y por último, iii) Persistencia temporal: Se contabiliza el número de meses en los que un píxel ha sido clasificado como corta confirmada o corta potencial.

Validación cruzada de resultados: Finalmente, los resultados obtenidos en ambas partes de la metodología son analizados de manera conjunta para realizar validaciones cruzadas. Si ambas metodologías detectan una corta en la misma región, se incrementa la probabilidad de validación. En caso de discrepancias, las regiones permanecen como no validadas hasta que el sistema acumule suficiente evidencia para una evaluación más robusta. Esta validación asegura una detección más precisa y fiable, optimizando el balance entre sensibilidad y especificidad en la identificación de cortas forestales.

4. Resultados

Primera parte: Probabilidad de corta: Como resultado de la primera fase de la metodología, se genera una capa rasterizada en la que cada píxel, con una resolución espacial de 10 metros, se asocia con una probabilidad de corta. Esta capa identifica áreas con mayor o menor probabilidad de haber sufrido una corta, basándose en los criterios definidos en la metodología. Además, dicha capa se actualiza dinámicamente cada vez que una nueva escena de Sentinel-2 está disponible, garantizando así que la información esté siempre al día y refleje los cambios recientes en la vegetación (ver ejemplo en la Figura 2).

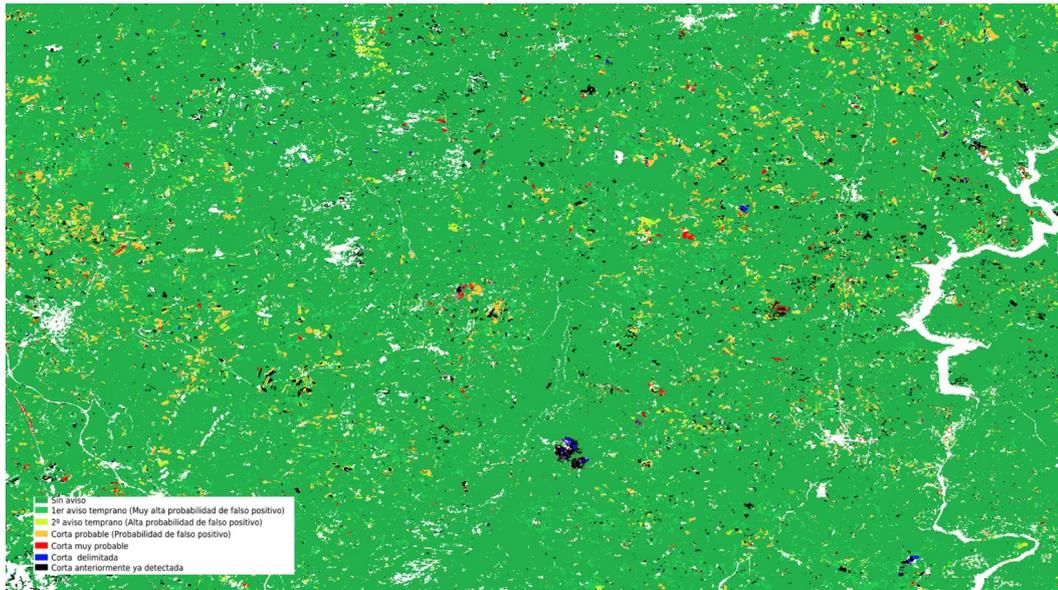


Figura 2: Ejemplo capa de avisos con la probabilidad de posible corta detectada. Esta probabilidad se actualiza con cada nueva escena disponible.

Segunda parte: Mosaicos libres de nubes y servicio WMS: Por otro lado, los mosaicos libres de nubes generados mensualmente se integran en un servicio WMS (Web Map Service) que permite el acceso remoto y en tiempo real a los datos procesados. Este servicio no solo proporciona acceso a las capas derivadas del análisis de detección de cortas, sino que también incluye capas adicionales, como imágenes en color verdadero. Estas capas facilitan la visualización y comprensión de los cambios ocurridos en una región específica a lo largo de una serie temporal, ofreciendo a los usuarios una herramienta intuitiva para explorar los datos (ver ejemplo en la Figura 3).

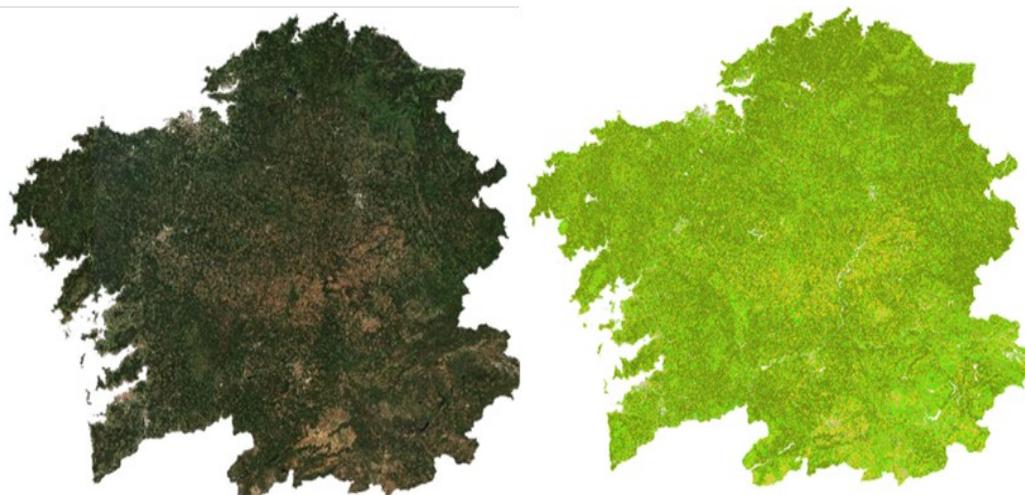


Figura 3: Ejemplo de mosaico libre de nubes de toda la comunidad de Galicia para el mes de agosto. A la izquierda la representación en color verdadero y a la derecha el cálculo del NDVI.

La combinación de ambos resultados ofrece un marco robusto para la monitorización y análisis de cambios en la cobertura forestal, proporcionando productos cartográficos de alta calidad y accesibles a través de herramientas geoespaciales avanzadas.

5. Discusión

Los sensores pasivos, como los multiespectrales de Sentinel-2, proporcionan información muy valiosa gracias a sus bandas en el espectro visible e infrarrojo, combinadas con una alta frecuencia de actualización de imágenes (cada 6 días). Esto genera una gran cantidad de datos para el análisis, pero también plantea desafíos significativos debido a la sensibilidad de estos sensores a las condiciones meteorológicas, como ya expresaba LÓPEZ-AMOEDO et al. 2021. LÓPEZ-AMOEDO et al. 2021 recomendaba aplicar un filtro de reflectancia en la banda azul de 0.01, sin embargo muchas veces esto no es suficiente para ello. Este aspecto puede introducir ruido en los resultados, especialmente en escenarios donde fenómenos meteorológicos, como nubes o niebla, no son fácilmente detectables, pero afectan la calidad de los datos. En particular, eventos climáticos que causan disminuciones en el NDVI pueden dar lugar a falsos positivos, simulando la apariencia de una corta en regiones donde realmente no ha ocurrido.

Para abordar esta problemática, la metodología implementada incluye una validación progresiva de las zonas identificadas como posibles áreas afectadas. Esta validación se realiza utilizando nuevas escenas, lo que permite refinar los resultados y minimizar errores. Sin embargo, en regiones donde la persistencia de nubes o bancos de niebla es recurrente, se está evaluando la integración de sensores activos, como los sensores radar, que no dependen de las condiciones de luz y son menos susceptibles a interferencias meteorológicas.

Otro factor crítico es la influencia de la fenología de las masas forestales. En especies de frondosas, por ejemplo, es común observar pérdida de hojas en invierno o cambios de color asociados al estrés hídrico, lo que puede reducir el NDVI sin que ello implique una corta. Para mitigar este tipo de errores, se implementa un modelo basado en probabilidades, que permite interpretar estos fenómenos de forma más precisa, al considerar tanto patrones fenológicos como contextos ambientales específicos.



Por último, es importante destacar que el panorama de los datos satelitales está en constante evolución. El programa Copernicus continúa ampliando y mejorando su constelación de satélites, incorporando sensores más avanzados que ofrecerán datos de mayor calidad y precisión. Paralelamente, los avances en Inteligencia Artificial y las capacidades de computación están transformando la forma en que se analizan los datos geoespaciales. Esto sugiere que las metodologías para la detección de cortas, como las presentadas en este trabajo, tienen un gran potencial para evolucionar y ofrecer resultados más fiables y robustos en el futuro cercano.

6. Conclusiones preliminares

El uso de imágenes satelitales Sentinel-2 demuestra ser una herramienta válida y eficiente para la detección de cortas, siempre que se consideren cuidadosamente las limitaciones inherentes a los sensores pasivos. Estos sensores ofrecen una alta resolución espacial y temporal, lo que permite monitorear áreas extensas con una frecuencia adecuada para identificar cambios en la cobertura forestal. Sin embargo, su sensibilidad a las condiciones meteorológicas y la fenología de las masas forestales requiere la implementación de estrategias robustas para minimizar errores y falsos positivos.

La integración de técnicas avanzadas, como la generación de mosaicos libres de nubes, el uso de superresolución y metodologías basadas en análisis espacio-temporales, permite abordar en gran medida estos desafíos. Adicionalmente, los modelos probabilísticos empleados para interpretar los datos ayudan a diferenciar entre cambios naturales, como la pérdida estacional de hojas, y cambios antropogénicos, como las cortas forestales.

Finalmente, hay que tener en cuenta la mejora y actualización constante de este tipo de procesos, como la incorporación de sensores activos, como radar, y la evolución de las tecnologías de Inteligencia Artificial y computación, ofrecen oportunidades significativas para mejorar la precisión y la confiabilidad de este tipo de análisis. Estos avances, combinados con la mejora continua en los datos satelitales proporcionados por programas como Copernicus, garantizarán que las herramientas de detección de cambios sigan desempeñando un papel clave en la gestión sostenible de los recursos forestales.

7. Bibliografía

- CHOI, S.-E.; LEE, S.; PARK, J.; LEE, S.; YIM, J.; KANG, J.; 2024. Detection and Analysis of Forest Clear-Cutting Activities Using Sentinel-2 and Random Forest Classification: A Case Study on Chungcheongnam-do, Republic of Korea. *Forests*, 15, 450. <https://doi.org/10.3390/f15030450>
- COPERNICUS PROGRAMME; 2023. Sentinel-2 User Guide. European Space Agency. Disponible en: <https://sentinel.esa.int>
- GENÇ, Ç. Ö., ALTUNEL, A.O.; 2025. Monitoring the operational changes in surface reflectances after logging, based on popular indices over Sentinel-2, Landsat-8, and ASTER imageries. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1), 120.
- GIAMBELLUCA, A.L.; HERMOSILLA, T.; ÁLVAREZ-MOZOS, J.; GONZÁLEZ-AUDÍCANA, G.; 2025. Identifying forest harvesting practices: Clear-cutting and thinning in diverse tree species using dense Landsat time series, *Forest Ecology and Management* 578
- LASTOVICKA, J.; SVEC, P.; PALUBA, D.; KOBLIUK, N.; SVOBODA, J.; HLADKY, R.; STYCH, P.; 2020. Sentinel-2 Data in an Evaluation of the Impact of the Disturbances on Forest Vegetation. *Remote Sens.* 12, 1914. <https://doi.org/10.3390/rs12121914>
- LÓPEZ-AMOEDO, A.; ÁLVAREZ, X.; LORENZO, H.; RODRÍGUEZ, J.L.; 2021. Multi-Temporal Sentinel-2 Data Analysis for Smallholding Forest Cut Control. *Remote*



Sens. 13, 2983. <https://doi.org/10.3390/rs13152983>
PUERTA TUESTA, R. H.; IANNACONE OLIVER, J. A.; REÁTEGUI INGA, M. E.;
2023. Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la
cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y competitividad*, 25(3).