

Caiza-Morales, L.; Gómez, C.; Olano, J. Detección de perturbaciones en pinares mediante series temporales Landsat y el algoritmo Edyn.

Detección de perturbaciones en pinares mediante series temporales Landsat y el algoritmo Edyn.

Caiza-Morales, Lorena¹ **Gómez, Cristina**^{1,2} **Olano, José Miguel**¹

¹ iuFOR, EiFAB, Universidad de Valladolid, Campus Duques de Soria, Soria, España

² Department of Geography and Environment, School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen AB24 3UE, Scotland, UK.

ORCID: Caiza-Morales [0009-0006-3337-430X](https://orcid.org/0009-0006-3337-430X) Gómez [0000-0002-2756-0863](https://orcid.org/0000-0002-2756-0863) Olano [0000-0002-4526-5462](https://orcid.org/0000-0002-4526-5462)

Correspondencia: lorena.caiza@uva.es cgoomez@uva.es josemiguel.olano@uva.es

RESUMEN

Los bosques están expuestos a perturbaciones naturales y antrópicas que provocan cambios en la cobertura forestal de distinta duración e intensidad. Estas alteraciones pueden ser desde cambios abruptos hasta procesos graduales de degradación. La detección temprana y caracterización precisa de estos cambios es fundamental para la gestión forestal sostenible. Por otro lado, la teledetección se ha consolidado como una herramienta clave para el análisis de la dinámica forestal. Además, la creciente disponibilidad de series temporales de imágenes satelitales permite obtener una visión histórica coherente de la dinámica de los bosques. Este trabajo evalúa el rendimiento y la sensibilidad del algoritmo Edyn para la detección de perturbaciones en pinares del centro de la península Ibérica mediante el análisis de series temporales de datos Landsat (2014–2024). Para ello se analizaron dos tipos de perturbación: cortas y defoliación por procesionaria del pino (PPM). El estudio se centró en consolidar una base de datos que integrara los dos tipos de perturbación, así como en identificar el índice espectral más sensible en cada caso, evaluando la magnitud de cambio estimada mediante NDVI, NBR, TCG y SAVI. Los resultados indican que el NDVI es el índice más sensible para la detección de cortas, mientras que el NBR es más sensible a las defoliaciones por PPM. El uso conjunto de índices adecuados y métricas estacionales mejora la identificación de cambios forestales y del agente que los provoca.

Palabras clave: *series temporales, claras, defoliación, cambios*

Fecha de recepción: 16 febrero 2026 · **Fecha de aceptación:** 16 febrero 2026


DetECCIÓN DE PERTURBACIONES EN PINARES MEDIANTE SERIES TEMPORALES LANDSAT Y EL ALGORITMO EDYN.

Caiza-Morales, Lorena ⁽¹⁾, Gómez, Cristina ^(1,2), Olano, José Miguel ⁽¹⁾

⁽¹⁾ iuFOR, EiFAB, Universidad de Valladolid, España.

 0009-0006-3337-430X, lorena.caiza@uva.es ;  0000-0002-4526-5462, josemiguel.olano@uva.es.

⁽²⁾ Department of Geography and Environment, School of Geosciences, University of Aberdeen, Aberdeen AB24 3UE, Scotland.

 0000-0002-2756-0863, cgomez@uva.es.

Resumen: Los bosques están expuestos a perturbaciones naturales y antrópicas que provocan cambios en la cobertura forestal de distinta duración e intensidad. Estas alteraciones pueden ser desde cambios abruptos hasta procesos graduales de degradación. La detección temprana y caracterización precisa de estos cambios es fundamental para la gestión forestal sostenible. Por otro lado, la teledetección se ha consolidado como una herramienta clave para el análisis de la dinámica forestal. Además, la creciente disponibilidad de series temporales de imágenes satelitales permite obtener una visión histórica coherente de la dinámica de los bosques. Este trabajo evalúa el rendimiento y la sensibilidad del algoritmo Edyn para la detección de perturbaciones en pinares del centro de la península Ibérica mediante el análisis de series temporales de datos Landsat (2014–2024). Para ello se analizaron dos tipos de perturbación: cortas y defoliación por procesionaria del pino (PPM). El estudio se centró en consolidar una base de datos que integrara los dos tipos de perturbación, así como en identificar el índice espectral más sensible en cada caso, evaluando la magnitud de cambio estimada mediante NDVI, NBR, TCG y SAVI. Los resultados indican que el NDVI es el índice más sensible para la detección de cortas, mientras que el NBR es más sensible a las defoliaciones por PPM. El uso conjunto de índices adecuados y métricas estacionales mejora la identificación de cambios forestales y del agente que los provoca.

Palabras clave: series temporales, claras, defoliación, cambios

Detection of forest disturbances in pine forests using Edyn in Landsat time series.

Abstract: Forest ecosystems are exposed to natural and anthropogenic disturbances that cause changes in forest cover of varying duration and intensity, ranging from abrupt alterations to gradual degradation processes. Early and accurate detection of these changes is essential for sustainable forest management. In response to this, remote sensing has established itself as a key tool for analyzing forest dynamics. In addition, the growing availability of time series of satellite images provides a consistent and cost-effective historical view of forests. This study evaluates the performance and sensitivity of the Edyn algorithm for detecting forest changes in pine stands on the center of Iberian Peninsula by analyzing time series of Landsat images (2014–2024). To this end, four types of change were analyzed: clearcutting, and defoliation by the pine processionary moth (PPM). The study focused on consolidating a database that groups the two types of change and identifying the most sensitive spectral index for each case, evaluating the magnitude of change obtained with NDVI, NBR, TCG, and SAVI. The results indicate that NDVI is the most sensitive index for detecting clearcutting, while NBR is more sensitive to gradual events e.i. defoliation by PPM. The combined use of appropriate indices and seasonal metrics improves the identification of forest changes and the agent causing them.

Keywords: Clearcutting, Thinning, pine processionary, droughts, time series.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques son sistemas altamente dinámicos, moldeados por la interacción continua entre procesos naturales y factores antropogénicos que afectan su estructura y funcionamiento. Comprender esta

complejidad requiere herramientas de monitorización capaces de capturar variaciones sutiles y cambios graduales en el estado del ecosistema, más allá de la simple detección de modificaciones en el uso del suelo (Miguel *et al.*, 2024). Si bien los esfuerzos tradicionales se han centrado principalmente en las variaciones de

superficie forestal, la creciente presencia de factores de estrés como sequías o brotes de plagas asociadas a cambios en los regímenes de precipitación y la mayor frecuencia de eventos de sequía (Ramsfield *et al.*, 2016) junto con las perturbaciones derivadas de la gestión forestal, exige métodos de seguimiento más específicos. La teledetección ha demostrado ser una herramienta clave para el seguimiento de perturbaciones forestales. Asimismo, la creciente disponibilidad de imágenes Landsat y la mejora en la compatibilidad entre satélites han facilitado el desarrollo de algoritmos de detección de cambios basados en el análisis de series temporales (Giambelluca *et al.* 2025). Entre estos algoritmos de cambio basados en series temporales destacan CCDC (Zhu *et al.*, 2012) y BEAST (Zhao *et al.*, 2019), que han demostrado ser muy eficaces para detectar perturbaciones de gran magnitud, como incendios o tala rasa, pero presentan menor sensibilidad frente a cambios sutiles o graduales como la defoliación por insectos (Zhu *et al.* 2017).

En este estudio, nuestro objetivo es evaluar el rendimiento y la sensibilidad del algoritmo Edyn (Brooks *et al.* 2017) en la detección de perturbaciones bruscas y graduales, incluyendo cortas y defoliación por procesionaria del pino (PPM) en los pinares de la Península Ibérica, utilizando series temporales Landsat desde 2014 hasta 2024. El estudio se centró en consolidar una base de datos que agrupara los dos tipos de cambio y en identificar el índice espectral más sensible para cada caso, evaluando la magnitud de cambio obtenida con NDVI, NBR, TCG y SAVI.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio.

El área de estudio comprende un conjunto de muestras distribuidas por los pinares del interior de España. Las muestras de cortas se concentran en el extremo este de Castilla y León y las muestras de procesionaria están localizadas principalmente en Madrid y Castilla-La Mancha (Figura 1).

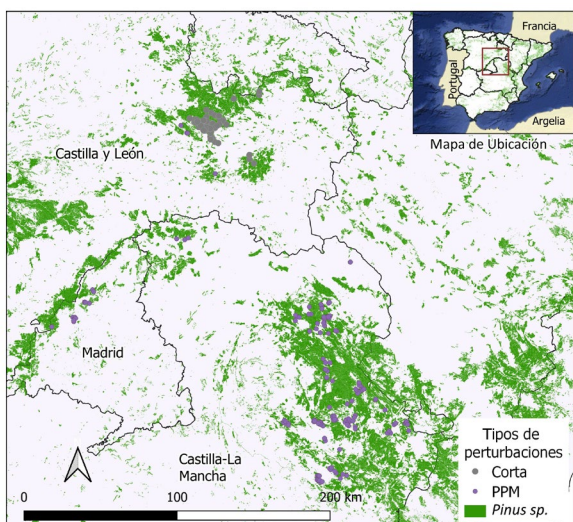


Figura 1. Localización de las muestras de referencia de cada tipo de perturbación.

2.2. Construcción de la base de datos de referencia

Las perturbaciones asociadas a cortas se identificaron mediante interpretación visual de imágenes de Google Earth, centrándose en áreas con actividades forestales en la región de Castilla y León. Para la identificación de defoliación por PPM se integró información procedente de registros oficiales de las administraciones autonómicas de Madrid y Castilla-La Mancha. Dado que las áreas más susceptibles a defoliaciones intensas corresponden a los bordes de los rodales y árboles aislados (Montoya and Hernández, 1998) se realizó una selección espacial de píxeles con cobertura forestal que cumplieran los siguientes criterios: alta defoliación, cobertura forestal con altura superior a 5 m (según el modelo digital de altura de vegetación de la 2ª cobertura del PNOA, 2017) y evidencia de pérdida estacional de follaje. Este último criterio se determinó mediante análisis espectral, identificando píxeles con una diferencia de NDVI Landsat superior a 0.10 entre otoño e invierno, coherente con el ciclo fenológico de la PPM, cuya activa fase larvaria durante el invierno provoca una defoliación apreciable en las copas de los pinos (Figura 2).

El conjunto de datos incluye 100 muestras afectadas por cortas, y 200 por defoliación por PPM. Para este estudio, las muestras se dividieron en subconjuntos de prueba y validación (50/50 para las cortas a hecho y 100/100 para la defoliación por PPM).

2.3. Extracción de las series temporales Landsat

Para la preparación de la serie temporal Landsat OLI/OLI-2 2014–2024, se utilizó la herramienta Google Earth Engine. Durante esta etapa se aplicó una armonización de datos y un enmascaramiento de nubes. Para completar la falta de datos debida a la presencia de nubes, se hizo una interpolación entre observaciones temporalmente, y se calcularon los índices espectrales. Seleccionamos índices de vegetación que combinan la banda roja (R), infrarroja cercana (NIR) e infrarroja de onda corta (SWIR). Estos índices incluyen: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Quemado Normalizado (NBR) e Índice Tasseled Cap Greenness (TCG) (Tabla 1). Finalmente, se extrajo la serie de datos ráster de 9 x 9 píxeles con una frecuencia temporal de 2 observaciones por mes, para cada localización de referencia.

Tabla 1. Índices espectrales de vegetación y sus ecuaciones utilizadas en este estudio para caracterizar perturbaciones forestales.

| Índice | Ecuación | Referencia |
|--------|---------------------------------|------------------------|
| NDVI | $\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ | (Tucker, 1979) |
| | | |
| NBR | $\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ | (Key and Benson, 2006) |
| | | |

| Índice | Ecuación | Referencia |
|--------|--|------------------------------|
| SAVI | $\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L \times (1 + L)}$ | (Huete, 1988) |
| TCG | $-0.2941 \times BLUE - 0.243 \times GREEN - 0.5424 \times RED + 0.7276 \times NIR + 0.0713 \times SWIR1 - 0.1608 \times SWIR2$ | (Hudak <i>et al.</i> , 2013) |

2.4. Aplicación del algoritmo Edyn

Edyn (Exponentially Weighted Moving Average Change Detection) (Brooks *et al.*, 2014; Brooks *et al.*, 2017), utiliza modelos de regresión armónica para identificar la estacionalidad propia de la vegetación y aplica un control estadístico que permite detectar desviaciones respecto a su comportamiento esperado, estas desviaciones constituyen la magnitud de cambio, definida como la diferencia entre el valor observado del índice espectral y el valor predicho por el modelo armónico. En este estudio, Edyn se aplicó utilizando un esquema de entrenamiento dinámico, que permite al algoritmo adaptarse continuamente a la evolución de la serie temporal. Los parámetros se configuraron siguiendo la recomendación del autor, estableciendo un límite de control (L) de 3 y un peso histórico (λ) de 0.3. Una vez identificadas las anomalías de magnitud negativa, los resultados se interpretaron en relación con el año del evento registrado en la base de datos. En el caso de la PPM, la interpretación se realizó considerando su ciclo biológico. El rendimiento del método se cuantificó mediante la métrica recall, $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$ definida como la proporción de eventos correctamente detectados respecto al total de eventos registrados, calculada a partir de los verdaderos positivos (TP) y las perturbaciones no detectadas o falsos negativos (FN).

3. RESULTADOS

Edyn aplicado a la serie de datos Landsat fue capaz de detectar tanto las perturbaciones bruscas como las graduales (Figura 2).

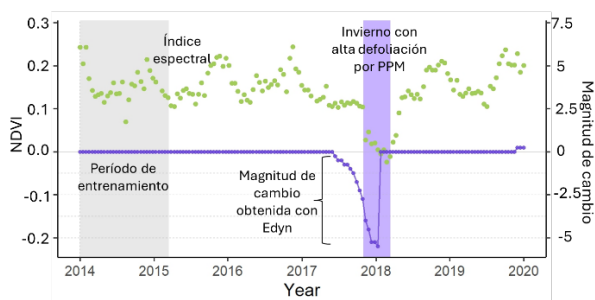


Figura 2. Serie temporal de NDVI y magnitud de cambio detectada por Edyn para un píxel afectado por defoliación por PPM.

Para las cortas el índice que destaca por su proporción es el NDVI, con un recall de 0.92 (Tabla 2); esto se debe a la fuerte respuesta ante la eliminación de la cobertura forestal. Por el contrario, para el caso de defoliación

causada por PPM, el NBR presentó los mejores resultados con un recall de 0.52, seguido de SAVI y TCG; en este caso el NDVI refleja un bajo número de aciertos. El NBR presentó un mejor desempeño en la detección de cambios sutiles y progresivos, como la defoliación por PPM, ya que integra información del infrarrojo cercano y de onda corta, sensibles al contenido hídrico y a la estructura de la cubierta vegetal.

Tabla 2. Recall obtenidos al evaluar Edyn en la identificación de los tipos de perturbación utilizando los índices espectrales NDVI, NBR, SAVI y TCG.

| | NDVI | NBR | SAVI | TCG |
|--------|------|------|------|------|
| Cortas | 0.92 | 0.60 | 0.63 | 0.70 |
| PPM | 0.34 | 0.52 | 0.42 | 0.42 |

En términos de sensibilidad, las magnitudes de cambio derivadas de NDVI y NBR muestran rangos de valores diferente entre cortas y PPM. Por el contrario, las magnitudes de cambio obtenidas con SAVI y TCG muestran un solapamiento entre las dos perturbaciones analizadas, lo que indica una capacidad limitada para discriminar distintos agentes de cambio (Figura 3).

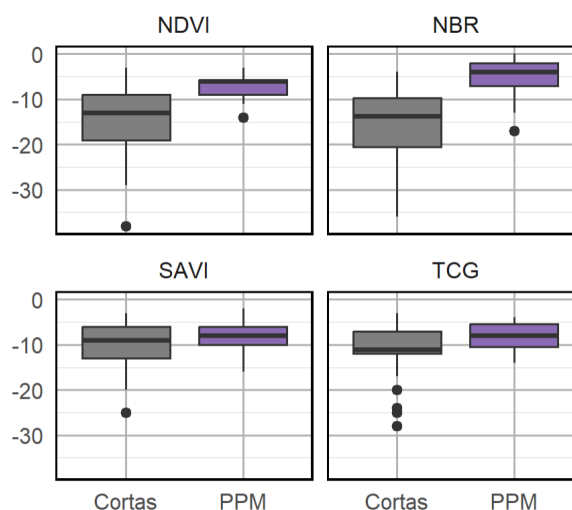


Figura 3. Boxplots que muestran la magnitud del cambio obtenida al aplicar Edyn en la identificación cortas y PPM, utilizando los índices espectrales NDVI, NBR, SAVI y TCG.

4. CONCLUSIÓN

En términos de rendimiento y sensibilidad, el NDVI se destaca para la detección de perturbaciones en las que la remoción de la cobertura forestal es fácilmente identificable, como las cortas, debido a su fuerte respuesta a cambios en la biomasa. En contraste, el NBR presenta una mayor sensibilidad para detectar cambios más sutiles en la condición del dosel, como la defoliación asociada a la procesionaria del pino, lo que lo convierte en un índice más adecuado para la identificación de perturbaciones de menor intensidad. En este sentido, la combinación de índices espectrales específicos con indicadores temporales asociados por ejemplo a ciclos biológicos del agente perturbador resulta clave para la detección e interpretación de eventos y del agente que

los provoca.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las administraciones de Castilla-La Mancha y Murcia que proporcionaron datos de sus programas de seguimiento de plagas. Además, agradecemos la ayuda financiera de CiE Caja Rural. Lorena Caiza-Morales recibió el apoyo de la Universidad de Valladolid mediante Beca Predoctoral Santander (E-42-2022-0025620).

6. REFERENCIAS

- Brooks, E.B., Wynne, R.H., Thomas, V.A., Blinn, C.E., Coulston, J.W., 2014. On-the-Fly Massively Multitemporal Change Detection Using Statistical Quality Control Charts and Landsat Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52, 3316–3332. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2272545>
- Brooks, E.B., Yang, Z., Thomas, V.A., Wynne, R.H., 2017. Edyn: Dynamic Signaling of Changes to Forests Using Exponentially Weighted Moving Average Charts. *Forests* 8, 304. <https://doi.org/10.3390/f8090304>
- Giambelluca, A. L., Hermosilla, T., Álvarez-Mozos, González-Audicana. J. M., 2025. Identifying forest harvesting practices: clear-cutting and thinning in diverse tree species using dense Landsat time series. *For. Ecol. Manag.*, 578 (2025), Article 122442, 10.1016/j.foreco.2024.122442
- Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., 2010. Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 8650–8655. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912668107>
- Hudak, A.T., Bright, B.C., Kennedy, R.E., 2013. Predicting live and dead basal area from LandTrendr variables in beetle-affected forests, in: MultiTemp 2013: 7th International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images. Presented at the MultiTemp 2013: 7th International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/Multi-Temp.2013.6866024>
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25, 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Key, C.H., Benson, N.C., 2006. Landscape Assessment (LA).
- Miguel S. Miguel, P. Ruiz-Benito, P. Rebollo, A. Viana-Soto, M.C. Mihai, A. García-Martín, M.2024 Tanase Forest disturbance regimes and trends in continental Spain (1985–2023) using dense landsat time series. *Environ. Res.*, 262, Article 119802, 10.1016/j.envres.2024.119802
- Montoya, R., Hernández, R., 1998. La procesionaria del pino. Madrid Plagas de Insectos en las Masas Forestales Españolas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 67–84
- Ramsfield, T.D., Bentz, B.J., Faccoli, M., Jactel, H., Brouckhoff, E.G., 2016. Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 89, 245–252. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw018>
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8, 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Zhao, K., Wulder, M.A., Hu, T., Bright, R., Wu, Q., Qin, H., Li, Y., Toman, E., Mallick, B., Zhang, X., Brown, M., 2019. Detecting change-point, trend, and seasonality in satellite time series data to track abrupt changes and nonlinear dynamics: A Bayesian ensemble algorithm. *Remote Sensing of Environment* 232, 111181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.034>
- Zhu, Z., 2017. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 130, 370–384