



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1356

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

Organiza





Proyecto RIGOR-MED: monitoreo riguroso de las perturbaciones en bosques mediterráneos

ESTEBAN CAVA, J. (1), GONZÁLEZ, I. (1), ALGEET, N. (1), GUILLEN, M. (1), YÁÑEZ, L. (1) y TOMÉ, J.L. (1).

(1) Agresta Sociedad Cooperativa.

Resumen

El proyecto RIGOR-MED (2024-2025) ha sido seleccionado en el marco del proyecto europeo FORWARDS. RIGOR-MED tiene como objetivo principal lograr una mejor comprensión de las perturbaciones forestales, sus causas y sus impactos, en los bosques mediterráneos. El proyecto comparará y validará productos de perturbación existentes, así como productos de cambio creados internamente, utilizando series temporales de satélites y algoritmos de detección de cambios. Además, se generará una base de datos abierta de referencia de perturbaciones forestales, causadas por distintos agentes, a partir de la interpretación visual de imágenes de alta resolución. Esta base de datos servirá para la estimación de la superficie afectada por perturbaciones mediante métodos estadísticamente rigurosos.

A partir de los resultados obtenidos se pretende mejorar la comprensión sobre la efectividad de los datos de teledetección en el monitoreo y detección de cambios en estos ecosistemas, así como comprender mejor el potencial y las limitaciones de los productos y metodologías disponibles actualmente. Se aboga por la aplicación de los principios de la ciencia abierta para permitir un acceso amplio a los resultados.

Palabras clave

Gestión forestal, teledetección, digitalización, cambios.

1. Introducción

Realizar una gestión forestal sostenible es necesario para garantizar simultáneamente la producción de beneficios socioeconómicos y la reducción de los efectos del cambio climático, minimizando la deforestación y la degradación de los bosques, conservando la diversidad biológica, protegiendo los suelos y preservando los recursos hídricos (VOGELMANN et al., 2016). Sin embargo, una gestión sostenible requiere también del conocimiento exhaustivo sobre las perturbaciones forestales y la dinámica general de los bosques, ya que esta información es clave para comprender su estado actual y su respuesta a los cambios (WULDER et al., 2019).

Dado que los bosques están en un continuo proceso de transformación, científicos expertos de diferentes disciplinas han sumado esfuerzos con el objetivo de desarrollar herramientas y productos que faciliten el seguimiento de los cambios a distintas escalas espaciales y temporales (HANSEN et al., 2013; SENF et al., 2021), atendiendo a diversos propósitos, como la identificación de cambios abruptos o sutiles (COOPS et al., 2020; COHEN et al., 2020; LI et al., 2021). Sin embargo, estos productos presentan limitaciones importantes. En primer lugar, en ocasiones



carecen de una validación sólida que permita la obtención de estimaciones estadísticamente rigurosas. En segundo lugar, su utilidad puede ser cuestionable, ya que pueden presentar resultados precisos de manera global, pero con poca confianza para zonas concretas.

En este contexto, en zonas boreales o tropicales, donde los cambios suelen ser más drásticos y menos complejos (desde el punto de vista estructural), son más fáciles de detectar con las herramientas actuales (HEIKKONEN & VARJO, 2004; CARDILLE et al., 2022; JOSHI et al., 2015; TRITSCH et al., 2016). En cambio, son menos los que han detectado cambios en los ecosistemas mediterráneos, existiendo solo algunos precedentes (GIANNETTI et al., 2020; ESTEBAN et al., 2021; FRANCINI et al., 2021).

A partir de nuestra experiencia en proyectos previos como LIFE AdaptAleppo, donde monitoreamos cambios sutiles en bosques de *Pinus halepensis* mediante el análisis de series temporales Landsat, y en el proyecto del Grupo Operativo Bosques 3.0, donde empleamos técnicas de teledetección para monitorear cambios en tres provincias piloto en España (GONZÁLEZ et al, 2024), hemos identificado algunos de los principales desafíos. La detección de cambios en bosques mediterráneos no es un proceso sencillo 1) por la gran variedad e intensidad de cambios existentes y 2) por la existencia de masas más abiertas. En estos casos la detección de cambios se dificulta ya que la señal captada por el satélite suele ser una mezcla del estrato arbóreo, sotobosque y del suelo.

Todos estos hechos hacen que el estudio de las perturbaciones en este tipo de ecosistemas tome el carácter prioritario. Sin embargo, existen una serie de barreras que es necesario superar para ampliar el conocimiento de los ecosistemas mediterráneos y arrojar luz sobre un aspecto diferente de su dinámica. Además, es necesario analizar técnicas de armonización que permitan integrar datos de distintas fuentes con el objetivo de mejorar la aplicabilidad de los productos ya existentes.

2. Objetivos

El objetivo de la presente comunicación es dar a conocer el proyecto RIGOR-MED. Este proyecto pretende lograr una mejor comprensión de las perturbaciones forestales, los agentes de cambio y sus impactos en los bosques mediterráneos. Esto implicará un análisis exhaustivo de diferentes productos relacionados con perturbaciones forestales derivados de datos de teledetección en bosques mediterráneos. En particular, el proyecto comparará y validará productos de perturbaciones existentes, así como productos de cambio generados internamente, utilizando series temporales de satélites y algoritmos de detección de cambios. Además, se generará una base de datos abierta de referencia sobre perturbaciones forestales, que abarque diversos tipos de perturbaciones mediante la interpretación visual de imágenes de alta resolución.

A fin de estructurar mejor el desarrollo del proyecto y facilitar su implementación por fases, se han definido las siguientes metas específicas:



1. Revisión y evaluación de productos existentes de perturbaciones forestales, centrada en identificar las fortalezas y debilidades de cada metodología así como profundizar en las características de los productos.
2. Desarrollo de productos internos de detección de cambios, mediante la aplicación de algoritmos sobre series temporales de imágenes satelitales (como Landsat o Sentinel), adaptados a las condiciones ecológicas de los bosques mediterráneos.
3. Comparación y validación cruzada entre productos existentes y desarrollos propios, estableciendo métricas de precisión (por ejemplo, exactitud general, omisión/comisión) y análisis de coherencia espacial.
4. Generación de una base de datos de referencia abierta, construida mediante interpretación visual de imágenes de alta resolución. Esta base recogerá diferentes tipos de perturbaciones y se diseñará para ser utilizada por la comunidad científica y técnica.

Estos procesos son fundamentales para garantizar la fiabilidad de la información, lo cual contribuye a 1) comprender mejor la eficacia de los datos de teledetección en la monitorización y detección de cambios en estos ecosistemas, y 2) entender mejor el potencial y las limitaciones de los productos y metodologías disponibles actualmente.

El proyecto será ejecutado durante 2025, en la región mediterránea de la península ibérica y las islas Baleares, por Agresta Sociedad Cooperativa.

3. Metodología

La metodología del proyecto sigue un enfoque estructurado para desarrollar y validar productos de perturbaciones forestales que sean precisos y de confianza. El proyecto se estructura en torno a cuatro paquetes principales de trabajo (WP, por sus siglas en inglés) (Figura 1), cada uno con una serie de entregables asociados que garantizan el cumplimiento de los objetivos propuestos.

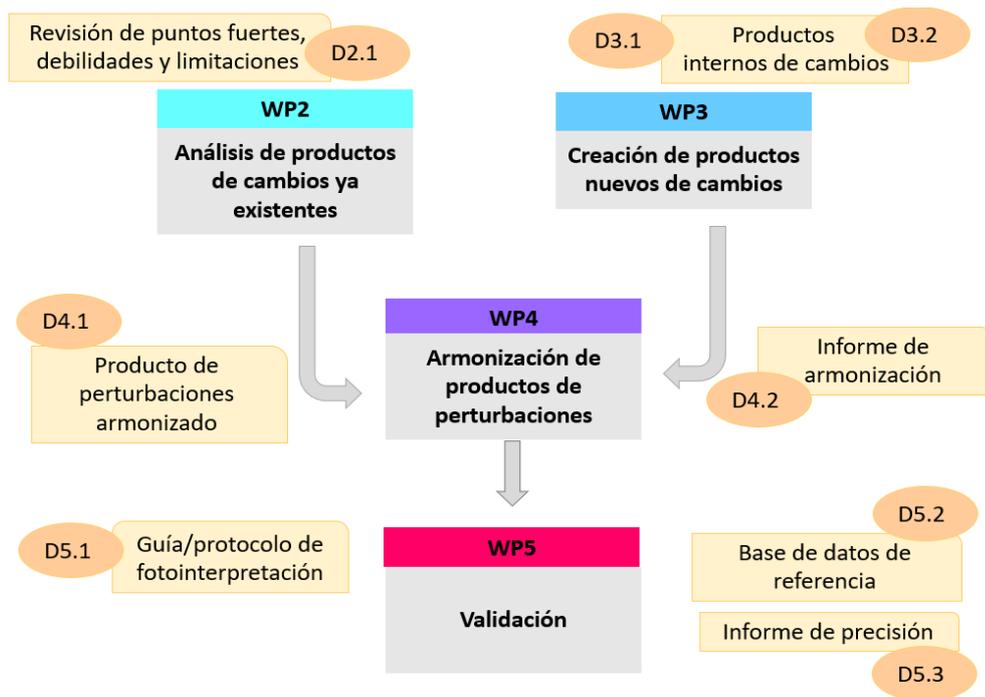


Figura 1. Esquema metodológico del proyecto

En primer lugar, se recopilarán tres productos de cambios ya existentes creados a distintas escalas operacionales. Estos son:

- El producto global de cambios conocido como Global Forest Change (Hansen et al., 2013)
- Mapa europeo de cambios forestales creado por Senf et al. 2021.
- Sistema de alertas anuales nacional promovido por el MITECO (IEPNB, 2024).

Estos productos serán sometidos a un análisis exhaustivo, para evaluar sus resoluciones espaciales, temporales y leyenda. Además, se examinarán en detalle las metodologías utilizadas para generar estos productos, incluyendo los algoritmos aplicados, los tipos de imágenes empleados y los procesos de validación. Este análisis exhaustivo contribuirá a identificar y documentar las fortalezas, debilidades, limitaciones y posibles aplicaciones de la teledetección en el monitoreo de perturbaciones. Los resultados obtenidos en esta etapa servirán como base para guiar el desarrollo de las etapas posteriores del proyecto. El estudio comparativo permitirá destacar fortalezas compartidas entre los tres productos. Todos ellos se basan en observaciones satelitales, lo que garantiza una metodología estandarizada de monitoreo. Además, emplean flujos de trabajo automatizados, que facilitan su escalabilidad y reproducibilidad.

En segundo lugar, se generarán dos productos de perturbaciones forestales a escala nacional empleando series temporales de (i) Landsat y de (ii) Sentinel-2. Las series temporales serán analizadas con algoritmos de tendencias que identifiquen automáticamente los puntos de ruptura asociados con la presencia de cambios (Figura 2). El algoritmo central del procesamiento será el CCDC (Continuous Change Detection and Classification), una herramienta especialmente diseñada para detectar y clasificar cambios de cobertura del suelo de forma continua y

precisa. El modelo ajustará funciones armónicas multitemporales a cada píxel, identificando patrones estacionales y tendencias a largo plazo. Para confirmar un cambio real, se exigirá que tres observaciones consecutivas se desvíen significativamente del comportamiento esperado, lo que ayudará a filtrar perturbaciones espurias ocasionadas por nubes, humo u otros artefactos temporales. El algoritmo también aprovechará múltiples índices espectrales de forma simultánea, lo que permitirá identificar diferentes tipos de perturbaciones con mayor exactitud y asignar fechas concretas a los eventos detectados. Toda la metodología se implementará en la plataforma Google Earth Engine (GEE), elegida por su capacidad para manejar y analizar grandes volúmenes de datos satelitales históricos y actuales. Esta plataforma permitirá ejecutar algoritmos personalizados, optimizando tiempos de procesamiento y accediendo de forma directa a series completas de imágenes satelitales.

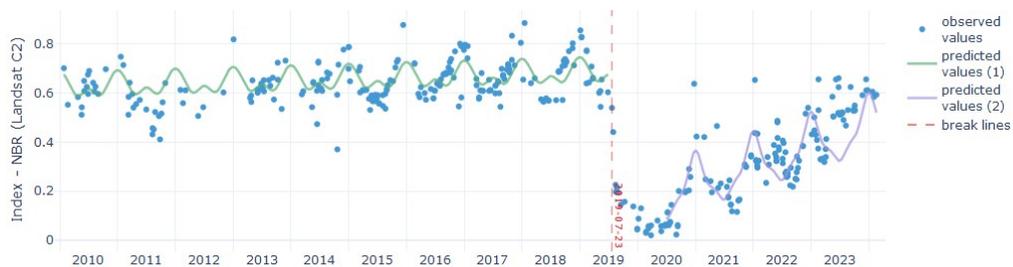


Figura 2. Ejemplo de identificación de un punto de ruptura en los valores de tendencia del índice NBR obtenido a partir de series temporales de Landsat.

Estas metodologías ya han sido testadas en algunas provincias pilotos en el contexto del Grupo Operativo Bosques 3.0. (Figura 3).

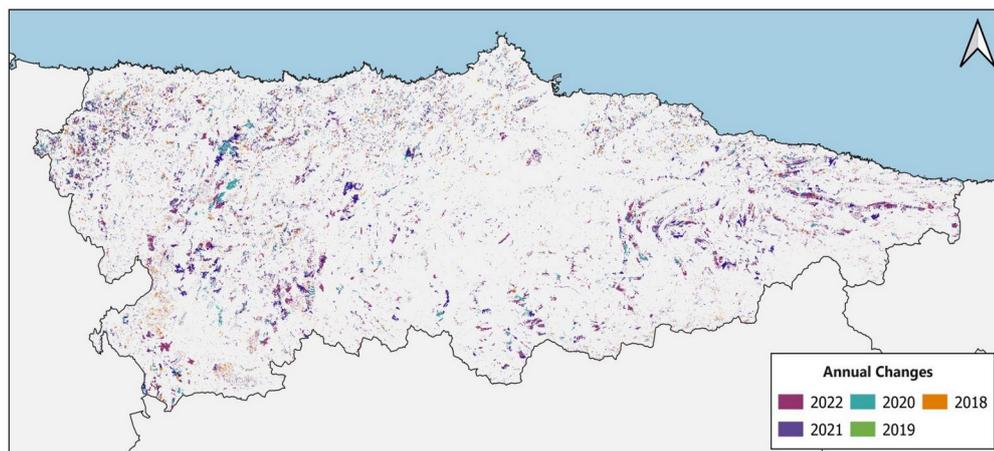


Figura 3. Producto de perturbaciones forestales anuales en la provincia piloto de Asturias

Para garantizar la comparación y consistencia de los productos de cambios ya existentes y los generados internamente, se desarrollará e implementará una metodología de armonización. Esta metodología pretende analizar diversos métodos propuestos para la generación de nuevos mapas a partir de productos ya existentes. Dichos métodos establecen asociaciones entre las diferentes clases a

partir de relaciones semánticas, votaciones por clases mayoritarias u otras métricas cuantitativas (LI et al., 2020). Una de las técnicas más utilizadas es la reconciliación temática, que consiste en hacer compatibles las categorías de cambio utilizadas por distintos conjuntos de datos. Para ello, se establecerá una tabla de correspondencia que permita traducir estas categorías a un lenguaje común, facilitando comparaciones consistentes. Otra estrategia es la fusión espacio-temporal, que proyecta todos los datos sobre una misma cuadrícula y aplica reglas simples: si dos o más fuentes indican un cambio en una misma ubicación dentro de un intervalo temporal cercano (por ejemplo, ± 1 año), entonces se considerará que allí ocurrió una perturbación. Este enfoque ayuda a reducir errores y aprovecha la complementariedad entre fuentes con diferentes resoluciones o fechas de actualización. En casos más complejos, cuando las fuentes no coinciden en las clases o presentan dudas, se podrán aplicar métodos de fusión probabilística, que permiten combinar la información asignando probabilidades a cada posible tipo de cambio. Así, se podrá reflejar mejor la incertidumbre y obtener una interpretación más flexible y robusta del cambio detectado.

Finalmente, la calidad de los mapas generados se evaluará con la consolidación de una base de datos de referencia, creada con técnicas de teledetección, que permita determinar la robustez de los productos y estimar las superficies de las perturbaciones de manera estadísticamente fiable. Diseñada en el marco del proyecto FORWARDS, la base de datos estará armonizada tanto a nivel nacional como europeo. El proyecto implementará un protocolo de interpretación que permita la utilización de plataformas de código abierto y personalizado (Figura 4), en las que se puedan visualizar imágenes de media y alta resolución. Además, se intentará definir un sistema de clasificación exhaustivo y exclusivo que permita asignar una única categoría de cambio a las parcelas que se deban fotointerpretar. Para ello se crearán claves de fotointerpretación con las reglas, imágenes y orientaciones para obtener unos resultados coherentes y fiables. Regularmente se revisarán un conjunto de la base de datos para detectar y subsanar posibles errores resultantes de un entendimiento diferente de los criterios.

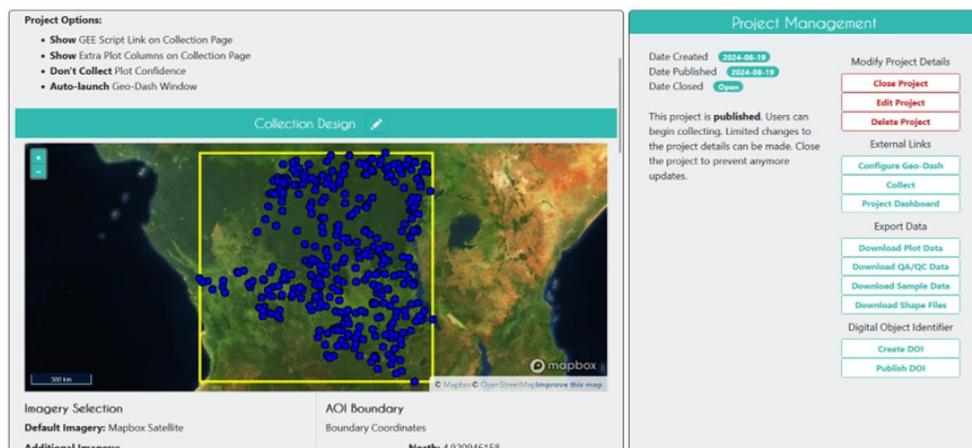


Figura 4. Ilustración de Collect Earth Online como plataforma diseñada para la colección de datos fotointerpretados.

La evaluación de la precisión de los productos objetivo se llevará a cabo mediante la comparación de los datos cartográficos con la base de datos de referencia. A



partir de esta comparación, la precisión se caracterizará mediante una tabla de contingencia (matriz de confusión), teniendo en cuenta las coincidencias y discrepancias espaciales y temporales. La matriz de confusión también se utilizará para la estimación de áreas y el cálculo de la incertidumbre, siguiendo las "buenas prácticas" para la estimación de cambios de área según OLOFSSON et al. (2014).

4. **Resultados** Los resultados esperados del proyecto RIGOR-MED son los siguientes:
 - Aumento del nivel de conocimiento y distribución de las perturbaciones forestales en los ecosistemas mediterráneos. Se obtendrán mapas detallados y análisis cuantitativos que permitirán comprender con mayor precisión dónde, cuándo y con qué intensidad ocurren las perturbaciones en los bosques mediterráneos. Esto incluirá la caracterización de distintos tipos de eventos (como incendios, aprovechamientos o plagas), su recurrencia temporal y su distribución geográfica.
 - Herramientas y flujos metodológicos operativos para el monitoreo de las perturbaciones forestales utilizando datos de sensores remotos o derivados de ellos. Estos flujos metodológicos estarán orientados no solo a detectar eventos abruptos como incendios o talas, sino también a identificar cambios sutiles. Asimismo, se incorporará un enfoque específico para analizar el impacto de las sequías en la respuesta espectral de la vegetación, con el fin de evaluar y minimizar la aparición de falsos positivos en la detección de perturbaciones. Este aspecto es especialmente relevante en ecosistemas mediterráneos, donde las fluctuaciones estacionales o los eventos climáticos extremos pueden confundirse con cambios permanentes del uso del suelo.
 - Productos cartográficos con la identificación temporal de los cambios ocurridos. El proyecto proporcionará mapas de cambios forestales con información sobre la localización, el tipo de perturbación y la fecha estimada del evento, lo que permitirá hacer un seguimiento preciso de la evolución del paisaje forestal.
 - Evaluación, consistente y estadísticamente robusta de las perturbaciones. Se implementarán metodologías de validación con métricas robustas (precisión global, error de omisión/comisión, coherencia entre fuentes) que asegurarán la calidad y fiabilidad de los datos generados.
 - Consolidación de una base de datos de referencia, junto con un protocolo estandarizado, de carácter fundamental para futuros análisis. Este protocolo garantizará la trazabilidad de los datos y su integración futura con otras fuentes o iniciativas internacionales de monitoreo.
 - Avances metodológicos en el desarrollo de metodologías de armonización de datos creados con diferentes recursos. El proyecto desarrollará e implementará metodologías de armonización temática y espacio-temporal, que permitirán combinar productos de diferente origen, escala y resolución. Este avance será fundamental para mejorar la interoperabilidad entre fuentes, reducir incertidumbres y construir indicadores más coherentes y completos.

5. **Discusión**



El proyecto RIGOR-MED representa una oportunidad para mejorar la caracterización de las perturbaciones en los ecosistemas mediterráneos. Una de las fortalezas del proyecto radica en el uso de datos gratuitos con una actualización periódica. El uso de datos con una política de datos abiertos hace que las metodologías sean replicables y escalables en otros entornos de interés, convirtiéndola en una herramienta valiosa y de interés en el monitoreo de las perturbaciones forestales. Además, esta característica permitiría el desarrollo de productos con una frecuencia suficiente para satisfacer las necesidades científicas en un entorno en constante cambio.

Por otra parte, los programas de satélite más longevos han experimentado una transición a lo largo de su historia; desde un uso más manual de los datos a un procedimiento más automatizado en el que los datos están listos para ser usados (WULDER et al., 2022). Esto ha dado lugar a plataformas de computación en la nube que facilita el uso de los datos, disparándose el número de aplicaciones o productos derivados. A medida que los productos cartográficos aumentan se requiere de procedimientos que permitan la armonización. En este sentido, este proyecto ofrecerá luz sobre cómo los diferentes productos de detección remota, con sus fortalezas y limitaciones, pueden ser integrados para caracterizar de manera más precisa los patrones y dinámicas de las perturbaciones forestales en la región mediterránea.

Una base de datos de referencia armonizada y gratuita ofrece beneficios significativos al proporcionar información fiable de campo y podría ayudar en la calibración y validación de nuevos algoritmos de detección de cambios. Esta base de datos servirá como un recurso fundamental para la estimación estadísticamente rigurosa de las áreas afectadas por perturbaciones forestales en estos entornos. Sin embargo, para asegurar la consistencia y calidad de los datos, es fundamental contar con un protocolo objetivo y transparente que guíe la toma de decisiones y asegure la reducción de sesgos en la interpretación de los datos (McROBERTS et al., 2018).

No obstante, el proyecto enfrenta ciertas limitaciones que merecen ser consideradas. Entre ellas, el importante volumen de datos que habrá que gestionar en el proyecto exige trabajar con técnicas de computación en nube. Será esencial escalar adecuadamente estas técnicas y adaptar los procesos de forma eficiente para garantizar el éxito del desarrollo del proyecto. Las plataformas en línea de los Servicios de Acceso a Datos e Información (DIAS) permiten a los usuarios descubrir, manipular, procesar y descargar datos e información obtenidos por teledetección. Todas las plataformas DIAS proporcionan acceso a los datos de Copernicus Sentinel, así como a los productos de información de los seis servicios operativos de Copernicus, junto con herramientas basadas en la nube (de código abierto y/o de pago por uso). Aparte del DIAS, existen actores comerciales que también proporcionan un entorno de procesamiento basado en la nube y acceso instantáneo en línea a los archivos de datos de observación de la Tierra. La preselección de la plataforma de procesamiento tendrá en cuenta dos factores



principales: (1) el acceso a los datos de observación de la Tierra requeridos y (2) la flexibilidad y madurez de la plataforma, basándose en la experiencia previa con estas plataformas en otros proyectos que involucraron el procesamiento y análisis de grandes datos de teledetección.

6. Conclusiones

Este proyecto tiene el potencial de contribuir significativamente a la gestión forestal sostenible de los recursos forestales mediterráneos, al abordar una necesidad crítica: disponer de herramientas precisas, escalables y consistentes para el seguimiento de perturbaciones forestales. A través de la evaluación y armonización de productos existentes, el desarrollo de nuevos mapas de cambio basados en series temporales de satélites y la implementación de metodologías automatizadas, se establecerán las bases para un sistema de monitoreo más eficaz y reproducible. Los resultados obtenidos permitirán una mejor comprensión de la dinámica espacial y temporal de las perturbaciones que afectan a los ecosistemas mediterráneos, incluyendo incendios, aprovechamientos forestales, plagas y otras formas de degradación. Esta información será clave para mejorar la planificación de medidas de conservación, restauración y adaptación al cambio climático, aportando evidencias concretas para la toma de decisiones tanto a nivel técnico como político. Además, el desarrollo de una base de datos de referencia abierta, junto con metodologías transparentes y replicables, favorecerá la transferencia de conocimiento y la colaboración entre instituciones, gestores, administraciones públicas y la comunidad científica.

En cuanto a líneas de investigación futuras, el proyecto abre múltiples posibilidades. Entre ellas, destacan: i) la mejora de algoritmos para la detección de perturbaciones de baja severidad, ii) el desarrollo de un protocolo de fotointerpretación para generar una base de datos de referencia con criterios homogenizados, iii) mayor comprensión de los productos de cambios existentes y iv) desarrollo de metodologías de armonización de productos creados a partir de diferentes recursos.

En definitiva, RIGOR-MED no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la dinámica forestal mediterránea, sino que también aportará herramientas útiles y aplicables en la gestión diaria de estos ecosistemas, avanzando hacia una visión más integrada y proactiva de su conservación.

7. Agradecimientos

The Project under this Agreement is funded under Grant Agreement 101084481 — FORWARDS — HORIZON-CL6-2022-CLIMATE-01 between EFI and the Research Executive Agency (REA) (the granting authority), under the powers delegated by the European Commission.

8. Bibliografía

CARDILLE, J.A.; PEREZ, E.; CROWLEY, M.A.; WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; HERMOSILLA, T. 2022. Multi-sensor change detection for within-year capture and labelling of forest disturbance. *Remote Sens. Environ.* 268, 112741.
COHEN, W.B.; HEALEY, S.P.; YANG, Z.; ZHU, Z.; GORELICK, N. 2020. Diversity of



- algorithm and spectral band inputs improves Landsat monitoring of forest disturbance. *Remote Sens.* 12, 1673.
- COOPS, N.C.; SHANG, C.; WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; HERMOSILLA, T. 2020. Change in forest condition: characterizing non-stand replacing disturbances using time series satellite imagery. *For. Ecol. Manag.* 474, 118370.
- ESTEBAN, J.; FERNÁNDEZ-LANDA, A.; TOMÉ, J.L.; GÓMEZ, C.; MARCHAMALO, M. 2021. Identification of silvicultural practices in mediterranean forests integrating Landsat time series and a single coverage of ALS data. *Remote Sens.* 13, 3611.
- FRANCINI, S.; MCROBERTS, R.E.; GIANNETTI, F.; MARCHETTI, M.; SCARASCIA MUGNOZZA, G.; CHIRICI, G. 2021. The three indices three dimensions (3i3d) algorithm: a new method for forest disturbance mapping and area estimation. *INT. J. Remote Sens.* 42, 4693–4711.
- GIANNETTI, F.; PEGNA, R.; FRANCINI, S.; MCROBERTS, R.E.; TRAVAGLINI, D.; MARCHETTI, M.; SCARASCIA MUGNOZZA, G.; CHIRICI, G. 2020. A new method for automated clearcut disturbance detection in mediterranean coppice forests using Landsat time series. *Remote Sens.* 12, 3720.
- GONZÁLEZ, I.; TOMÉ, J.L.; SALVADOR, M.; ESTEBAN, J. 2024. Detección de cambios en terrenos certificados por PEFC en la provincia de Pontevedra utilizando el algoritmo CCDC. En *Teledetección y Cambio Global: Retos y Oportunidades para un Crecimiento Azul*, Actas del XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección, pp. 195-198. 2024, Cádiz.
- HANSEN, M.C.; POTAPOV, P.V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S.A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S.V.; GOETZ, S.J.; LOVELAND, T.R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science.* 342, 850–853.
- HEIKKONEN, J.; VARJO, J. 2004. Forest change detection applying Landsat thematic mapper difference features: a comparison of different classifiers in boreal forest conditions. *For. Sci.* 50, 579–588.
- IEPNB. 2024. Alertas mensuales y anuales sobre la superficie forestal. Recuperado de: https://iepnb.es/sites/default/files/2024-12/Alertas_mensuales_Alertas_anuales_EIKO_S.pdf
- JOSHI, N.; MITCHARD, E.T.; WOO, N.; TORRES, J.; MOLL-ROCEK, J.; EHAMMER, A.; COLLINS, M.; JEPSEN, M.R.; FENSHOLT, R. 2015. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. *Environ. Res. Lett.* 10, 034014.
- LI, Y.; WU, Z.; XU, X.; FAN, H.; TONG, X.; LIU, J. 2021. Forest disturbances and the attribution derived from yearly Landsat time series. *For. Ecosyst.* 8, 73.
- LI, ZHAN; WHITE, JOANNE C.; WULDER, MICHAEL A.; HERMOSILLA, TXOMIN; DAVIDSON, ANDREW M.; COMBER, ALEXIS J. 2020. Land cover harmonization using latent dirichlet allocation. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 348-374.
- MCROBERTS, R. E.; STEHMAN, S. V.; LIKNES, G. C.; NÆSSET, E.; SANNIER, C.; WALTERS, B. F. (2018). The effects of imperfect reference data on remote sensing-assisted estimators of land cover class proportions. *Isprs J. Photogramm. Remote Sens.*, 142, 292–300.
- OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sens. Environ.* 148, 42-57.
- [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSE.2014.02.015](https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015)
- SENF, C.; SEIDL, R. 2021. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nat.*



Sustain. 4, 63–70.

TRITSCH, I.; SIST, P.; NARVAES, I.; MAZZEI, L.; BLANC, L.; BOURGOIN, C.; CORNU, G.; GOND, V. 2016. Multiple patterns of forest disturbance and logging shape forest landscapes in Paragominas, Brazil. *Forests*. 7, 315.

VOGELMANN, J.E.; GALLANT, A.L.; SHI, H.; ZHU, Z. 2016. Perspectives on monitoring gradual change across the continuity of Landsat sensors using time-series data. *Remote Sens. Environ.* 185, 258–270.

WULDER, M.A.; LOVELAND, T.R.; ROY, D.P.; CRAWFORD, C.J.; MASEK, J.G.; WOODCOCK, C.E.; ALLEN, R.G.; ANDERSON, M.C.; BELWARD, A.S.; COHEN, W.B.; DWYER, J.; ERB, A.; GAO, F.; GRIFFITHS, P.; HELDER, D.; HERMOSILLA, T.; HIPPLE, J.D.; HOSTERT, P.; HUGHES, M.J.; HUNTINGTON, J.; JOHNSON, D.M.; KENNEDY, R.; KILIC, A.; LI, Z.; LYMBURNER, L.; MCCORKEL, J.; PAHLEVAN, N.; SCAMBOS, T.A.; SCHAAF, C.; SCHOTT, J.R.; SHENG, Y.; STOREY, J.; VERMOTE, E.; VOGELMANN, J.; WHITE, J.C.; WYNNE, R.H.; ZHU, Z. 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sens. Environ.* 225, 127–147.

WULDER, M. A., ROY, D. P., RADELOFF, V. C., LOVELAND, T. R., ANDERSON, M. C., JOHNSON, D. M., HEALEY, S., ZHU, Z., SCAMBOS, T. A., PAHLEVAN, N., HANSEN, M., GORELICK, N., CRAWFORD, C. J., MASEK, J. G., HERMOSILLA, T., WHITE, J. C., BELWARD, A. S., SCHAAF, C., WOODCOCK, C. E., ... COOK, B. D. 2022. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sens. of Environ.*, 280, 113195.