

Becerra, J.; Álvarez-Martínez, J.; Jiménez-Alfaro, B.; Hugé, J.; Dewaissage, C.; Poray, C.; Papadakis, D.; Cost, A.; Sousa, A. CLMS Protected Areas: un enfoque semiautomático de uso del suelo y cobertura del suelo (LULC) basado en información de series temporales de alta resolución de Copernicus y su conexión con la cartografía de hábitats.

# CLMS Protected Areas: un enfoque semiautomático de uso del suelo y cobertura del suelo (LULC) basado en información de series temporales de alta resolución de Copernicus y su conexión con la cartografía de hábitats.

Becerra, Javier <sup>1</sup> Álvarez-Martínez, José Manuel <sup>2</sup> Jiménez-Alfaro, Borja <sup>2</sup> Hugé, Justine <sup>3</sup> Dewaissage, Carlos <sup>3</sup> Poray, Chris <sup>4</sup> Papadakis, Dimitri <sup>4</sup> Cost, Adrián <sup>1</sup> Sousa, Ana <sup>5</sup>

<sup>1</sup> COTESA, España

<sup>2</sup> CSIC-IMIB, UNIVERSITY OF OVIEDO

<sup>3</sup> COLLECTE LOCALISATION SATELLITES, CLS

<sup>4</sup> EVENFLOW

<sup>5</sup> EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA)

ORCID: Becerra 0009-0004-5253-3746 Álvarez-Martínez 0000-0002-8150-0802 Jiménez-Alfaro 0000-0001-6601-9597 Cost 0009-0002-5484-4869

Correspondencia: [javierbecerra@grupotecopy.es](mailto:javierbecerra@grupotecopy.es) [jm.alvarez@uniovi.es](mailto:jm.alvarez@uniovi.es) [jimenezalfaro@uniovi.es](mailto:jimenezalfaro@uniovi.es) [jhuge@groupcls.com](mailto:jhuge@groupcls.com) [cdewasseige@groupcls.com](mailto:cdewasseige@groupcls.com) [chris@evenflow.eu](mailto:chris@evenflow.eu) [dimitri@evenflow.eu](mailto:dimitri@evenflow.eu) [adriancost@grupotecopy.es](mailto:adriancost@grupotecopy.es) [ana.sousa@eea.europa.eu](mailto:ana.sousa@eea.europa.eu)

## RESUMEN

El seguimiento del uso del suelo y la cobertura del suelo (LULC) es esencial para comprender la dinámica del paisaje y su interacción con las actividades humanas, especialmente en un contexto de cambios ambientales globales. El Servicio de Monitoreo de la Tierra de Copernicus (CLMS) ofrece una gama de productos LULC multi anuales, entre ellos el veterano CORINE Land Cover y las más recientes capas de Monitoreo de Áreas Prioritarias orientadas a zonas clave como áreas urbanas, ribereñas, costeras y espacios Natura 2000. Los productos previos del CLMS sobre LULC se han basado principalmente en la fotointerpretación manual, lo que ha supuesto limitaciones en la resolución espacial, la reproducibilidad y la eficiencia. PA-2021 presenta un flujo de trabajo novedoso y semiautomático que utiliza series temporales de Sentinel-2 con superresolución y modelos de IA para generar productos LULC de Áreas Prioritarias de alta resolución. Este flujo de trabajo busca aprovechar la valiosa información previa del CLMS para alimentar los modelos, aplicando un filtrado exhaustivo basado en el comportamiento espectro-fenológico de cada clase en comparación con los predictores derivados de los datos de observación de la Tierra (EO). PA-2021 alcanza más del 90 % de precisión en la clasificación de Nivel 1 y captura subclases detalladas, como tipos de bosque y la distinción entre pastizales y cultivos. La metodología mejora la detección de elementos de pequeña escala y permite obtener salidas vectoriales listas para su uso, reduciendo significativamente el procesamiento manual. Su escalabilidad a regiones y periodos temporales más amplios favorece una mejor estratificación para campañas de muestreo in situ y contribuye a la futura cartografía de hábitats mediante su alineación con las clasificaciones EUNIS.



**Palabras clave:** Copernicus; Natura 2000; uso/cobertura del suelo; Sentinel-2; Deep-Learning

Fecha de recepción: 18 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 18 febrero 2026

# CLMS Protected Areas: un enfoque semiautomático de uso del suelo y cobertura del suelo (LULC) basado en información de series temporales de alta resolución de Copernicus y su conexión con la cartografía de hábitats.

Becerra, Javier <sup>(1)</sup>, Álvarez-Martínez, José Manuel <sup>(2)</sup>, Jiménez-Alfaro, Borja <sup>(2)</sup>, Hugé, Justine <sup>(3)</sup>, Dewaissance, Carlos <sup>(3)</sup>, Poray, Chris <sup>(4)</sup>, Papadakis, Dimitri <sup>(4)</sup>, Cost, Adrián <sup>(1)</sup>, Sousa, Ana <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> COTESA, España.

 0009-0004-5253-3746, javierbecerra@grupotecopy.es ;  0009-0002-5484-4869, adriancost@grupotecopy.es

<sup>(2)</sup> CSIC-IMIB, UNIVERSITY OF OVIEDO.

 0000-0002-8150-0802, jm.alvarez@uniovi.es ;  0000-0001-6601-9597, jimenezalfaro@uniovi.es

<sup>(3)</sup> COLLECTE LOCALISATION SATELLITES, CLS.

jhuge@groupcls.com ; cdewasseige@groupcls.com.

<sup>(4)</sup> EVENFLOW

chris@evenflow.eu ; dimitri@evenflow.eu.

<sup>(5)</sup> EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA).

ana.sousa@eea.europa.eu.

**Resumen:** El seguimiento del uso del suelo y la cobertura del suelo (LULC) es esencial para comprender la dinámica del paisaje y su interacción con las actividades humanas, especialmente en un contexto de cambios ambientales globales. El Servicio de Monitoreo de la Tierra de Copernicus (CLMS) ofrece una gama de productos LULC multi anuales, entre ellos el veterano CORINE Land Cover y las más recientes capas de Monitoreo de Áreas Prioritarias orientadas a zonas clave como áreas urbanas, ribereñas, costeras y espacios Natura 2000. Los productos previos del CLMS sobre LULC se han basado principalmente en la fotointerpretación manual, lo que ha supuesto limitaciones en la resolución espacial, la reproducibilidad y la eficiencia. PA-2021 presenta un flujo de trabajo novedoso y semiautomático que utiliza series temporales de Sentinel-2 con superresolución y modelos de IA para generar productos LULC de Áreas Prioritarias de alta resolución. Este flujo de trabajo busca aprovechar la valiosa información previa del CLMS para alimentar los modelos, aplicando un filtrado exhaustivo basado en el comportamiento espectro-fenológico de cada clase en comparación con los predictores derivados de los datos de observación de la Tierra (EO). PA-2021 alcanza más del 90 % de precisión en la clasificación de Nivel 1 y captura subclases detalladas, como tipos de bosque y la distinción entre pastizales y cultivos. La metodología mejora la detección de elementos de pequeña escala y permite obtener salidas vectoriales listas para su uso, reduciendo significativamente el procesamiento manual. Su escalabilidad a regiones y periodos temporales más amplios favorece una mejor estratificación para campañas de muestreo in situ y contribuye a la futura cartografía de hábitats mediante su alineación con las clasificaciones EUNIS.

**Palabras clave:** Copernicus; Natura 2000; uso/cobertura del suelo; Sentinel-2; Deep-Learning

***CLMS Protected Areas: a Land Use-Land Cover semi-automatic approach based on high-resolution Copernicus time series information and its connection with habitat mapping***

**Abstract:** Land Use and Land Cover (LULC) monitoring is essential for understanding landscape dynamics and their interaction with human activities, particularly amid global environmental changes. The Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) offers a range of multiannual LULC products, including the long-standing CORINE Land Cover and the more recent Priority Area Monitoring layers targeting key zones such as urban, riparian, coastal, and Natura2000 sites. Previous CLMS products on LULC have mainly relied on manual photointerpretation, facing limitations in spatial resolution, reproducibility, and efficiency. PA-2021 presents a novel, semi-

*automatic workflow using super-resolved Sentinel-2 time-series data and AI models to generate high-resolution PA LULC products. This workflow aims to use valuable previous CLMS information to feed models by applying a thorough filtering based on the spectro-phenological behavior of each class when compared to the EO data predictors. PA-2021 achieves over 90% accuracy at Level 1 classification and captures detailed sub-classes like forest types and grassland vs cropland distinctions. The methodology enhances detection of small-scale features and enables ready-to-use vector outputs, significantly reducing manual processing. Its scalability across larger regions and timeframes supports improved stratification for in-situ surveys and contributes to future habitat mapping through alignment with EUNIS classifications.*

**Keywords:** Copernicus; Natura 2000; land cover/land use; Sentinel-2; deep learning

## 1. INTRODUCCIÓN

CLMS Protected Areas (PA-2021) tiene como objetivo elaborar un mapa armonizado de coberturas y usos del suelo para todas las zonas protegidas terrestres de EU-27, Gran Bretaña y las zonas Emerald de Suiza. Se trata de un producto enmarcado en el **Programa Copernicus** (componente Tierra), donde la Agencia Europea de Medio Ambiente actúa como entidad responsable de la coordinación y provisión del servicio, asegurando la coherencia metodológica y la estandarización del producto. En este contexto, PA-2021 proporciona información temática de alta resolución y homogénea para apoyar el seguimiento y la evaluación de las áreas protegidas, facilitando su integración con el resto de los productos del Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) y su uso por gestores y usuarios finales en aplicaciones de conservación, planificación y análisis de presiones territoriales.

Como antecedente, CLMS Protected Areas adopta 2021 como año de referencia y da continuidad a la serie N2K (2006, 2012 y 2018). Se trata de la **primera cartografía homogénea del conjunto de emplazamientos Natura 2000 a escala europea**, con una cobertura aproximada de 820.000 km<sup>2</sup> y más de 25.000 sitios. Este producto se organiza en 59 clases alineadas con las capas CLMS del programa de Monitorización de Áreas Prioritarias (PAM por sus siglas en inglés) e incorpora un nivel 4 de detalle MAES/CORINE, permitiendo desagregaciones temáticas dentro de formaciones principales (por ejemplo, la diferenciación de bosque caducifolio dentro de la clase 3110). Frente a ediciones previas con un enfoque más manual, PA-2021 introduce un **flujo semiautomático y operacional basado en series temporales Sentinel-2**, superresolución y modelos avanzados de inteligencia artificial, complementado con procedimientos específicos de postprocesado y control de calidad para generar un producto vectorial listo para usar, conforme a los requisitos de escala y unidades mínimas del servicio.

Las **validaciones externas** realizadas por dos entidades independientes confirman el salto cualitativo del producto, con un acierto superior al 90% en clases de nivel 1 (por encima del objetivo global del 80%) y una mejora notable del detalle geométrico, manteniendo la coherencia con la serie temporal para maximizar la intercomparabilidad entre productos de la serie. En este contexto, el proyecto promueve una participación activa

de los usuarios finales en la concepción y explotación del producto, con el objetivo de que pueda actuar como columna vertebral para el diseño de muestreos in situ de biodiversidad y la cartografía experta de hábitats en áreas protegidas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El flujo de producción de PA-2021 se plantea como una cadena de procesos tecnológicos de alto valor añadido orientada a maximizar la robustez, la objetividad y la operatividad del producto final. Con el fin de capturar la diversidad biogeográfica a escala europea, se contó con el apoyo de expertos botánicos de la Universidad de Oviedo, que definieron una regionalización del continente en **38 biorregiones**, utilizada como marco para la estratificación del muestreo y el ajuste de los modelos.

Durante el proyecto se integraron múltiples capas de distinta naturaleza, con especial énfasis en productos del CLMS, al constituir la base para la **generación automática de muestras de entrenamiento**. La estrategia consistió en extraer puntos de forma automática, adaptados a la disponibilidad y a la representación de las clases en cada biorregión. Se emplearon principalmente: (i) *N2K, Urban Atlas, Riparian Zones* y *Coastal Zones* siempre que existiera cobertura espacial; (ii) productos *High Resolution Layers* para 2021 (p. ej., *Cropland, Forest Type* y *Grasslands*) para apoyar especialmente las clases 2xxx, 3xxx y 4xxx; y (iii) CLC+BB 2021 para reforzar clases arbustivas y discriminar fenologías relevantes en bosques caducifolios. Adicionalmente, EU-Hydro y Open Street Map resultaron clave para muestrear y caracterizar elementos lineales (cursos de agua, ríos, carreteras).

Para la **estratificación de puntos** se consideró la distribución de clases por área de estudio y biorregión a partir de CORINE Land Cover, sobre la cual se generó una malla sistemática de 500 × 500 m para todo el dominio de estudio. Se definió un número máximo de puntos por celda y se aplicaron restricciones geométricas (a modo de ejemplo, *buffer* interno en cpoligonos) para reducir efectos de borde. Asimismo, se implementó un **balanceo por clase** priorizando aquellas con menor representación espacial, con el objetivo de mejorar la capacidad discriminante del modelo en categorías minoritarias. Para depurar automáticamente las muestras y reducir la presencia de etiquetas erróneas, se aplicó un control de calidad basado en **Self-**

**Organizing Maps (SOM)**, orientado a *clusterizar* las clases según su comportamiento espectro-fenológico. Se utilizaron series temporales de NDVI de 2021 para cada biorregión y se descartaron aquellos puntos que se alejaban significativamente del comportamiento central del clúster asignado, mejorando así la consistencia interna del conjunto de entrenamiento antes de la fase de aprendizaje profundo.

Como predictores del modelo se generó un volumen superior a 70 TB de información satelital, organizado en cubos de datos. Se construyeron mosaicos mensuales de Sentinel-2 para 1053 teselas, mediante filtrado avanzado de píxeles no válidos y cálculo de la mediana usando una ventana temporal de 45 días centrada en cada mes. Se aplicó un control de calidad intensivo para descartar meses sin observaciones fiables en determinadas biorregiones; en particular, el invierno se excluyó en la mayoría de las regiones del norte de Europa debido al impacto de la baja elevación solar en la reflectividad y la calidad radiométrica. Sobre los mosaicos mensuales se aplicó IRIX4, un modelo pre-entrenado (propiedad de COTESA) basado en redes tipo GAN para superresolver las **bandas RGBN de Sentinel-2 desde 10 m hasta 2,5 m** (equivalente a 16 píxeles por píxel original). A partir de los mosaicos superresueltos se derivaron índices espectrales como NDVI y NDWI que, junto con las bandas RGBn, generan un conjunto potencial de hasta 72 bandas anuales que capturan la señal temporal necesaria para la discriminación de clases con fenologías contrastadas.

Dada la relevancia de la dimensión temporal en la separación de coberturas y usos del suelo vía comportamiento espectro-fenológico, se empleó un modelo de aprendizaje profundo (en el contexto temporal) 1D denominado **Temp-CNN**, que detecta patrones en series temporales a nivel píxel a través del entrenamiento con muestras puntuales de alta riqueza fenológica. Tras el entrenamiento inicial, se incorporaron estrategias de **Active Learning** para refinar el conjunto de entrenamiento, prestando atención a (i) puntos con baja probabilidad/alta incertidumbre y (ii) clases heterogéneas (por ejemplo, *urbano*) o de separación compleja (por ejemplo, *pastizales vs matorral*), así como confusiones habituales entre clases espectralmente próximas (p. ej., *cultivos vs. pastizales manejados*). El ciclo de entrenamiento-evaluación se ha repetido en numerosas ocasiones, apoyado por ejercicios intensivos de control de calidad, hasta alcanzar resultados estables.

Los mapas ráster resultantes se sometieron a un **postprocesado avanzado** orientado a generar un producto vectorial conforme a las especificaciones del servicio (unidad mínima de 0,5 hectáreas, ancho mínimo de 10 metros y escala 1-10.000): generalización de polígonos, correcciones topológicas, eliminación de *spikes* y tratamiento de pasillos menores de 10 m. Para ciertas familias temáticas se aplicaron reglas de etiquetado plausible apoyadas en pasarelas semánticas con datos auxiliares (p. ej., correspondencias entre atributos de OpenStreetMap y clases PA-2021 para 1xxx; y apoyo de capas de Riparian/Coastal para clases 7xxx-8xxx), así como el uso de cartografías específicas

(p. ej., European Wetland Map) para delimitar turberas y humedales en latitudes altas.

Finalmente, se generó un **mapa de calor de error potencial** (ver figura 1) agregando la probabilidad del modelo y una medida de heterogeneidad (vía un índice de Shannon adaptado) a una resolución de 10 × 10 m. Este producto resultó especialmente útil para el equipo de refinamiento manual al identificar patrones de “sal y pimienta” y áreas de confusión. En esta fase, el equipo experto, mediante el análisis visual de la cobertura VHR trianual de la ESA para el año 2021 en falso color, revisa etiquetas en los polígonos dudosos y fusiona en zonas de alta incertidumbre, preservando al máximo la objetividad del flujo semiautomático a la vez que mejora el producto.



**Figura 1.** Mapa de calor de posibles errores en el producto automático (campo de cultivos en Bélgica), utilizado como capa auxiliar por el equipo de refinamiento manual. Colores rojos muestran mayor incertidumbre.

### 3. RESULTADOS Y ESTADO ACTUAL

Los resultados obtenidos indican que el flujo semiautomático propuesto es capaz de generar una cartografía homogénea y operacional a escala europea (figuras 2 y 3), manteniendo la continuidad con la serie histórica y, a la vez, incrementando el nivel de detalle temático y geométrico. A la fecha de redacción de este trabajo, el producto está pendiente de ser publicado en fechas inminentes en el portal CLMS.



**Figura 2.** Segmentación automática PA-2021 en una zona protegida de Alemania; en rojo se muestran los bordes de los polígonos y las etiquetas de clase a nivel 4 (por ejemplo, arbustos como 5100).

Según el informe de validación intermedia del producto PA-2021, la evaluación temática se realizó sobre el 1,5% de la superficie total de zonas protegidas del contrato (aproximadamente 10.880 km<sup>2</sup> sobre 735.000 km<sup>2</sup>),

mediante un muestreo sistemático-estratificado basado en la malla LUCAS y una respuesta en dos etapas (fotointerpretación “ciega” seguida de un análisis de plausibilidad para los casos en desacuerdo). Con 600 unidades muestrales y reporte a nivel paneuropeo en nivel 1 (8 clases), los resultados de la plausibilidad alcanzan una **precisión global del 96,38%**, cumpliendo holgadamente el requisito de exactitud global (superior al 85%) y mostrando que, en general, las precisiones de productor y usuario superan el umbral del 80% (considerando IC95%). El informe identifica, no obstante, patrones de discrepancia para tener en cuenta en la lectura de los resultados; por ejemplo, la clase Agua, muestra una disparidad notable en la comparativa entre los resultados y el nivel mostrado en las imágenes VHR en aquellas zonas con una estación estival muy marcada (zonas mediterráneas como el interior de España), debido a que en este producto se tienen en cuenta las series temporales de Sentinel-2.



**Figura 3.** Producto PA-2021 en una zona protegida del interior de Croacia. En verde se muestran los bosques, en amarillo los cultivos, en rojo y morado oscuro las zonas urbanas, en morado claro las zonas húmedas y en azul el agua.

Por su parte, los informes realizados por la EEA denominados “*look and feel*” confirman un **rendimiento global elevado y relativamente estable del producto entre contextos biogeográficos**, a partir de una evaluación basada en 940 muestras distribuidas en cuatro biorregiones, donde la plausibilidad temática (a nivel de clase) alcanza un valor global de 86,9% y oscila aproximadamente entre 82,8% y 91,9% según la región, lo que sugiere una generalización robusta del enfoque pese a la heterogeneidad ambiental europea. Asimismo, se muestrean los bordes de los polígonos en rejillas de 250 x 250 metros con la intención de validar las geometrías automáticas extraídas del flujo automático. En diversas biorregiones se constata la validez de las mismas, mejorando incluso al anterior producto realizado manualmente a escala 1:10.000.

#### 4. CONCLUSIONES

PA-2021 demuestra que la combinación de series temporales Sentinel-2 (con superresolución), aprendizaje profundo y curación automática de muestras a partir de productos CLMS permite escalar la cartografía de áreas protegidas con alta exactitud y trazabilidad, reduciendo la dependencia de la fotointerpretación exhaustiva. Asimismo, la

estratificación por biorregiones ha sido clave para abordar la heterogeneidad europea. Este estudio pone de manifiesto las limitaciones de las capas de referencia en términos de disponibilidad y calidad. Por ello, resulta esencial analizarlas en detalle para definir reglas específicas y/o incorporar muestras adicionales en biorregiones complejas, especialmente en contextos con heterogeneidad *intra-sitio*.

El enfoque semiautomático adoptado en PA-2021 supone un **cambio de paradigma en la cartografía de coberturas y usos del suelo**: la combinación de series temporales satelitales y aprendizaje profundo permite producir mapas más reproducibles, escalables y trazables, con criterios consistentes en grandes dominios espaciales. Este giro no busca sustituir los enfoques manuales, sino complementarlos: el sistema genera una primera cartografía objetiva basada en evidencias espectro-fenológicas, y el equipo experto concentra su esfuerzo en tareas de alto valor (validación y revisión dirigida por incertidumbre), evitando la digitación extensiva y reduciendo la subjetividad. Así, se preserva la objetividad e intercomparabilidad temporal del producto a la vez que se mejora su detalle y eficiencia de producción. En conjunto, PA-2021 proporciona una base reproducible de cartografía LC/LU en áreas protegidas que puede actuar como columna vertebral para el seguimiento de presiones, el diseño de muestreos de biodiversidad y la cartografía experta de hábitats, manteniendo la trazabilidad y la comparabilidad temporal del producto.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla en el marco del contrato EEA/DIS/R0/23/009 de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) para el Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). Agradecemos la colaboración de los socios del consorcio en la preparación de la información VHR y validación (CLS), el apoyo de expertos botánicos en la definición de biorregiones, así como el refinamiento de muestras (Universidad de Oviedo – CSIC IMIB) y las tareas de difusión de los resultados (EVENFLOW).

#### 6. REFERENCIAS

- Ledig, C., Theis, L., Huszár, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., Aitken, A., Tejani, A., Totz, J., Wang, Z., & Shi, W. (2017). *Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network*. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 4681–4690). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.19>
- Pelletier, C., Webb, G. I., & Petitjean, F. (2019). Temporal Convolutional Neural Network for the Classification of Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 11(5), 523. <https://doi.org/10.3390/rs11050523>
- Rußwurm, M., & Körner, M. (2019). Self-attention for raw optical satellite time series classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169, 421–435.