



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1548

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

Organiza





Mapeado dinámico de coberturas forestales mediante teledetección en el marco del Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG)

ALONSO, L. (1, 2), RODRÍGUEZ-DORNA, A. (1, 2), PICOS, J. (1) y ARMESTO, J. (1, 2)

(1) Universidade de Vigo, Escola de Enxeñaría Forestal.

(2) CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo Xestión Segura e Sostible de Recursos Minerais.

Resumen

La incidencia del cambio climático y los incendios en España hacen necesaria la generación anual actualizada de cartografía forestal a fin de reflejar adecuadamente el estado de las masas, y comprender la influencia de la actividad antropogénica o el impacto derivado del cambio climático, entre otros. Este reto es especialmente difícil en áreas de minifundismo y altas tasas de actividad forestal, como es Galicia. Este estudio describe una metodología para elaborar cartografía forestal en esta Comunidad. Se basa en obtener un mapa de coberturas mediante clasificación supervisada de imágenes mensuales Sentinel-2 durante un periodo de 3 años. Este mapa se complementa con las cortas e incendios de ese periodo. Las cortas se detectan a partir de series temporales de índices espectrales construidos con imágenes mensuales adquiridas durante 2 años. Los incendios provienen de cartografía oficial. El resultado es un mapa de 10 m cuya leyenda incluye coberturas forestales estables (eucaliptos, coníferas, otras frondosas, matorral), perturbaciones (cortas e incendios recientes en masas arboladas) y coberturas arboladas en transición (cortas e incendios no recientes en masas arboladas). Adicionalmente, se establece un proceso para transformar este mapa en un mapa vectorial estructurado en subdivisiones de parcelas catastrales. Los mapas desarrollados son la cartografía base del IFCG.

Palabras clave

Gestión forestal sostenible, sistemas de información geográfica, planificación forestal, datos abiertos.

1. Introducción

Considerando el papel esencial de los bosques en la mitigación del cambio climático, es necesario desarrollar políticas que aseguren el manejo sostenible de los mismos (PAN et al., 2011). La eficacia de las políticas de gestión forestal sostenible depende en gran medida de tener una comprensión detallada de la distribución de los recursos forestales y su evolución (FAO, 2020). Por lo tanto, existe una creciente demanda de información actualizada sobre la distribución de los bosques y los cambios que tienen lugar en los mismos.

Los datos satelitales de acceso abierto como Sentinel-2 o Landsat son una de las fuentes de información más utilizadas para mapear y monitorear los recursos forestales a gran escala (WULDER et al., 2018; INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES, 2022). De hecho, múltiples agencias nacionales e internacionales se focalizan en desarrollar metodologías que les permitan producir automáticamente mapas de cobertura del suelo adaptados a su realidad particular a partir de datos satelitales (INGLADA et al., 2017; JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2021.; MUNDIALIS, 2019; S2GLC, 2021; UKCEH, 2020). Así mismo se han realizados múltiples esfuerzos para ser capaz de detectar perturbaciones forestales de forma automática utilizando también datos satelitales (KENNEDY et al., 2010; MASILIÜNAS et al., 2021). Sin embargo, estos métodos raramente están centrados en el monitoreo de



regiones forestales con alto grado de fragmentación y altas tasas de actividad forestal; estas áreas son complejas de mapear y monitorizar. Galicia es un ejemplo.

El territorio forestal gallego se caracteriza por ser mayoritariamente de propiedad privada y presentar un alto grado de fragmentación de la propiedad. La superficie media de las parcelas forestales es de 0,28 hectáreas (XUNTA DE GALICIA, 2021). El sector forestal gallego se caracteriza por ser muy activo y productivo (MITECO, 2022), por lo que se producen frecuentes cambios de cobertura por cortas de madera o cambios de especie. Las especies del género *Eucalyptus* spp. representan una parte importante de la producción total de madera de la región (XERA, 2023). Estas especies son de crecimiento rápido y tienen turnos de corta cortos lo que produce un alto grado de dinamismo en la cobertura forestal gallega. Además, Galicia es de las regiones de España donde más incidencia tienen los incendios forestales (MITECO, 2024). Hasta la actualidad la fuente cartográfica oficial para el monitoreo de esta comunidad es el mapa forestal español (MFE). Esta tiene un grado de actualización mínimo de 10 años y una unidad mínima cartografiable de 1 hectárea (0,5 ha en bosques de ribera) (MITECO, 2011). Las características de este mapa resultan insuficientes para hacer el seguimiento de la superficie forestal gallega. Así lo reflejaron las directrices para realizar la 1ª revisión del Plan Forestal de Galicia (PFG) (XUNTA DE GALICIA, 2015). Estas concluyeron que era prioritario disponer de información estadística y cartográfica fiable y actualizada de temática forestal para Galicia. Esto implicaría mejorar tanto la resolución temporal como espacial de la cartografía. Este marco derivó en el diseño y puesta en marcha del Inventario Forestal continuo de Galicia (IFCG): un convenio de colaboración institucional entre la Administración Forestal de Galicia y las Universidades de Vigo (UVIGO) y Santiago de Compostela (USC) (Xunta de Galicia, 2024). El IFCG se concibió como un sistema de información que ofrece tanto los datos básicos presentes en los inventarios forestales tradicionales (mapa forestal actualizado y estimación de variables forestales) como productos de mayor valor añadido como mapas de disponibilidad de recursos para la industria.

2. Objetivos

En este estudio se desarrolla un flujo de trabajo que permite desarrollar fuentes cartográficas adaptadas a monitorear la realidad forestal gallega de forma continua. Esto implica mapear de forma anual e integrada las coberturas estables del territorio gallego, así como los cambios que tienen lugar en la superficie forestal (cortas e incendios). Esta tiene que servir cómo la cartografía base del IFCG. Los productos finales de este flujo de trabajo son los siguientes: un mapa anual ráster de coberturas de 10 m de resolución y un mapa anual vectorial de cobertura que enlace la cobertura del territorio con las unidades de gestión del territorio (parcelas catastrales o subdivisiones de las mismas).

3. Metodología

3.1. Materiales

- Imágenes Sentinel-2

Las imágenes de satélite S2 se obtuvieron a partir del catálogo Harmonized Sentinel-2 MSI de Google Earth Engine (GOOGLE, 2022a). Estas imágenes tienen aplicadas las correcciones geométricas, topográficas y atmosféricas correspondientes al nivel 2 de preprocesamiento de la ESA (ESA, 2024). Para cada imagen se obtuvo también la probabilidad de que un área de la imagen estuviese afectada por nubes del catálogo Cloud Probability de Google Earth Engine (GOOGLE, 2022b). Dado el gran volumen de imágenes disponibles se aplicó, empleando Google Earth Engine, una reducción de la serie temporal para

conformar imágenes mensuales libres de nubes y con los valores de los píxeles más representativos del mes (FLOOD, 2008; FRANCINI et al., 2023). Para elaborar la cartografía de un cierto año se emplean 36 imágenes mensuales correspondientes a 3 anualidades (la del año natural y las dos anualidades previas).

- Coberturas LiDAR

Se emplearon las coberturas LiDAR más próximas al año de producción del mapa de coberturas. Estas coberturas se emplearon para determinar las alturas de la vegetación. En el momento de este estudio, la 2ª Cobertura LiDAR PNOA de 2015 y 2016 (CNIG, 2015) era la única que tenía cobertura completa para toda Galicia. En la zona costera de Galicia, se empleó la cobertura LiDAR Costa de 2019 por ser más reciente (XUNTA DE GALICIA, 2019). La Cobertura LiDAR PNOA tiene densidad de puntos media mínima de 0,5 puntos/m² mientras que la Cobertura LiDAR Costa es de 3 puntos/m².

- Mapa base vectorial

El mapa vectorial de coberturas parte de una estructura base que fue elaborada en el marco del IFCG y transferida para la realización de este trabajo. Esta consistió en una integración de las siguientes fuentes cartográficas vectoriales: los recintos del Sistema Español de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) del año 2021 (MITECO, 2021) obtenidos a partir del servicio de descargas del Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA, 2020) y los proyectos de ordenación de montes de Galicia suministrados por la Consellería de Medio Rural de la Xunta de Galicia a fecha de 02/02/2022.

- Cartografía de incendios

Los contornos de los incendios ocurridos en el periodo de análisis (3 años) fueron suministrados por la Consellería de Medio Rural de la Xunta de Galicia. Se trata de la fuente oficial con la que el servicio de incendios reporta la superficie quemada cada año.

- Datos de entrenamiento

Las áreas de entrenamiento proceden de trabajos previos realizados por los autores (ALONSO et al., 2021). Fueron delineadas manualmente para las clases de cobertura objetivo. Son un total de 1.531 polígonos.

3.2. Mapa ráster de coberturas

El mapa ráster de coberturas pretende cartografiar anualmente de forma integrada las coberturas estables del territorio, así como los cambios que suceden en el mismo. La leyenda objetivo de este se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Leyenda del mapa de coberturas.

CLASES	DESCRIPCIÓN
Eucalipto	Masas de eucaliptos
Coníferas	Masas de coníferas
Frondosas	Masas de frondosas diferentes a eucalipto
Cultivos o pastos	Superficie cubierta por cultivos o pastos
Matorral	Superficies dominadas por matorral
Suelo desnudo	Roquedos
Antrópico	Superficies Antrópicas
Agua	Masas de agua
Cortas	Cortas del año del mapa. Esta clase se desglosa en: Corta que

	proviene de Eucalipto, Conífera y Frondosa.
Áreas en regeneración	Cortas de anualidades previas donde la posible regeneración todavía no se detecta con las imágenes de satélite. Esta clase se desglosa en: Área en regeneración que proviene de Eucalipto, Conífera, Frondosa.
Incendios	Incendios del año del mapa. Esta clase se desglosa en: Incendios que provienen de Eucalipto, Conífera, Frondosa y otras coberturas.
Áreas quemadas	Incendios de las dos anualidades previas. Esta clase se desglosa en: Área quemada que proviene de Eucalipto, Conífera, Frondosa y otras coberturas.

El proceso se desglosa en mapeado de coberturas estables, mapeado de perturbaciones del año y mapeado de áreas en transición. Las coberturas estables engloban las clases siguientes: Eucaliptos, Coníferas, Frondosas, Matorral, Cultivos o pastos, Suelo desnudo, Superficies antrópicas y Agua. Para mapearlas se emplearon las 36 imágenes mensuales, 12 imágenes correspondientes al año del mapa y el resto a los 2 años anteriores. Para cada una de las imágenes de la serie temporal se realizó una clasificación supervisada mediante el algoritmo “random forest” utilizando los datos de entrenamiento descritos en el apartado anterior. Una vez que las 36 imágenes fueron clasificadas todas ellas se combinaron para obtener la clasificación correspondiente a la cobertura estable. El criterio de combinación consistió en seleccionar para cada píxel la moda las coberturas obtenidas a la largo de las 36 imágenes. Este proceso se describe detalladamente en ALONSO et al. (2021). La clasificación final fue refinada utilizando los datos LiDAR: todas aquellas superficies de frondosas con altura menos de 5 m fueron reclasificada a matorral.

Las perturbaciones del año incluyen incendios forestales y cortas. Los incendios se integraron a partir de la fuente cartográfica descrita en materiales. Estos fueron desglosados en diferentes clases considerando las tipologías de masas previas. Las cortas se mapearon siguiendo la metodología descrita en ALONSO et al. (2023). Esta consiste en obtener el índice NDVI para cada una de las imágenes mensuales del año final del mapa y el año anterior. Posteriormente se calculan estadísticos de la serie temporal de NDVI obtenida, en particular el percentil 10, la asimetría (skew) y la desviación estándar (desv). A estos estadísticos se les aplica el árbol de decisión que se presenta en la Figura 1. De entre todos los cambios encontrados se definió como cortas aquellos que eran arbolado en mapas de coberturas anteriores. Esto permite además de identificar las cortas, identificar la tipología de arbolado previo a la corta.

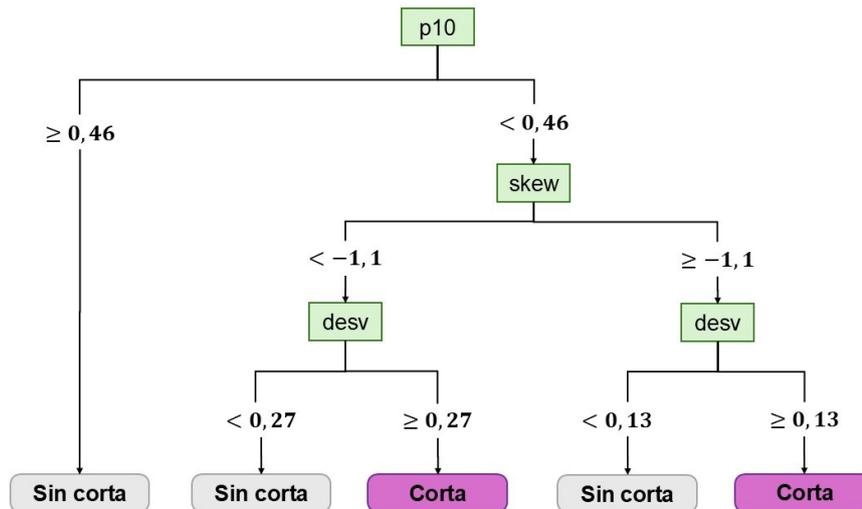


Figura 1. Árbol de decisión aplicado para la detección de cortas (ALONSO et al., 2023).

El siguiente paso consiste en mapear las áreas de transición. Estas incluyen las áreas quemadas (incendios de las 2 anualidades anteriores al año del mapa final) y las áreas en regeneración (cortas previas al año del mapa final). Las áreas quemadas se incluyeron a partir de la cartografía de incendios de las 2 anualidades anteriores al año final del mapa. Las áreas en regeneración se incorporaron al mapa a partir de las cortas detectadas en años anteriores. Las áreas en regeneración se refinaron debido a la abundancia en el área de estudio de masas de eucalipto, que son especies de crecimiento muy rápido. El proceso de refinado consistió en analizar la clasificación del año del mapa (moda de 12 imágenes). Si el píxel está clasificado como eucalipto se asigna a esta clase. Las dos clases correspondientes a áreas de transición se desglosaron según la tipología de masa previa.

Finalmente, el mapa se verificó mediante una muestra de puntos aleatorios estratificados. Se dispusieron aleatoriamente 30 puntos por clase de cobertura en cada uno de los 19 distritos forestales de Galicia. Se omitió verificar las clases de incendios y áreas quemadas por provenir de una fuente de datos oficial y externa. Las clases de cortas y áreas en regeneración se verificaron como si fuesen dos únicas clases, sin realizar el desglose por tipología de masa previa en cada una de ellas.

3.3. Mapa vectorial

El mapa base vectorial descrito en materiales se refinó debido a la alta fragmentación de las coberturas que se da en Galicia (ALONSO et al., 2022). Para ello se hizo una segmentación automática de la estructura vectorial base. Aquellos recintos con superficie mayor a 2 ha se subdividieron en unidades homogéneas de cobertura cuyo tamaño no podía ser inferior a 0,5 ha. Estas unidades se identificaron empleando el mapa ráster de coberturas. Este proceso dio lugar a un total de 17.339.902 recintos. Un detalle de la estructura vectorial base refinada se presenta en la Figura 2.

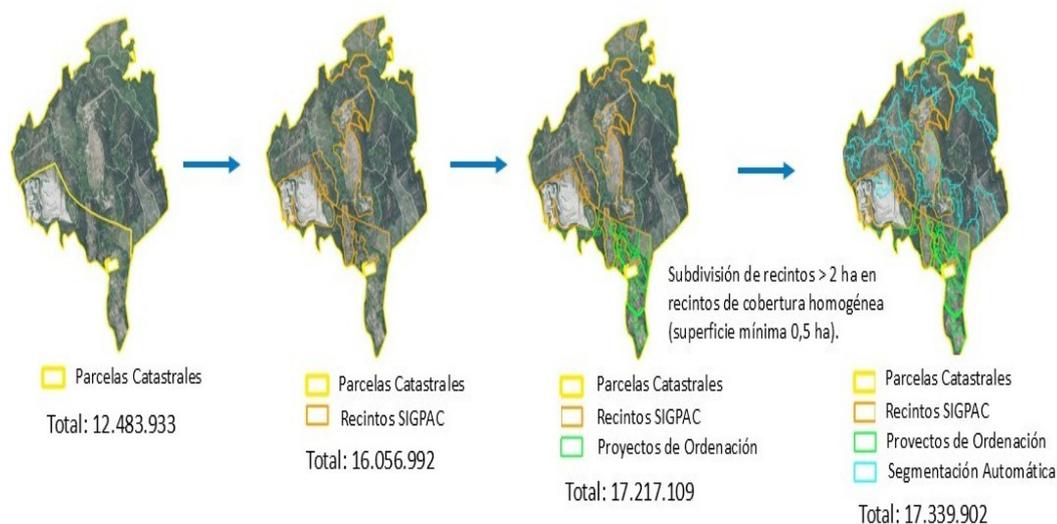


Figura 2. Detalle de la estructura vectorial base refinada.

Una vez obtenida la estructura vectorial base refinada se procedió a identificar en cada recinto la clase de cobertura correspondiente. Se estableció un criterio jerárquico, primero se asigna una clase general y posteriormente en función de esta se determina la clase de cobertura del recinto. Para asignar la clase general se siguió el árbol de decisión que se presenta en la Figura 3 y que fue consensuado dentro del IFCG. Este árbol de decisión establece las siguientes clases generales: Cortas, Áreas en regeneración, Incendios, Áreas quemadas, No forestal no arbolado, No forestal arbolado, Forestal no arbolado y Forestal arbolado.

El árbol de decisión requiere que en cada recinto se computen las siguientes estadísticas: superficie que ocupan los píxeles de cada clase de coberturas individualmente; superficie agrupada de los píxeles de las clases de cortas, áreas en regeneración, incendios y áreas quemadas para así determinar la superficie de cada uno de estas clases generales; el porcentaje de superficie arbolada del recinto (proporción de píxeles de Eucalipto, Conífera y Frondosa sobre el total) y dos porcentajes de superficie forestal (proporción de píxeles de Eucalipto, Conífera, Frondosas y Matorral o bien proporción de píxeles de Eucalipto, Conífera, Frondosas, Matorral, Pastos y Suelo desnudo).

Una vez calculados estos parámetros se aplicó el árbol de decisión. Si la superficie agrupada de Cortas, Áreas en regeneración, Incendios o Áreas quemadas es mayoritaria en el recinto se asigna alguno de estas clases generales al recinto. En caso contrario se continúa con el árbol de decisión. Si el recinto tiene más de un 50% de la superficie sin datos, se asigna la clase general Sin Valor. Si ninguno de estos supuestos se da, se procede a establecer las clases generales Forestal Arbolado, Forestal No Arbolado, No Forestal Arbolado y No Forestal No arbolado. Para ello, se comprueba si el recinto pertenece a un monte vecinal/monte público o si está catalogado como suelo no forestal (código de parcela 9000 de SIGPAC) y en función de los porcentajes de superficie arbolada y porcentaje de superficie forestal se establece una clase u otra.

Una vez establecida la clase general, se procede a determinar la clase de cobertura mayoritaria. Por ejemplo, si la clase general es Cortas se establece la clase de cobertura de corta que tiene mayor superficie en el recinto; lo mismo para Áreas en regeneración, Incendios y Áreas quemadas. Para Forestal Arbolado y No Forestal Arbolado se establece la clase de cobertura arbolada (Eucalipto, Conífera o



Froncosa) mayoritaria en el recinto. Para el caso de Forestal No Arbolado se establece la clase de cobertura mayoritaria y para No Forestal No Arbolado no se asigna ninguna clase de cobertura.



Figura 3. Árbol de decisión para la construcción del mapa vectorial.

4. Resultados

4.1. Mapa ráster

El mapa ráster producido para el año 2022 por la metodología descrita se presenta en la Figura 4. La matriz de confusión de verificación de este mapa se presenta en la Tabla 2. La precisión total del mapa para toda Galicia del 85%. Las precisiones de usuario y de productor de las clases varían entre el 62% y el 100%. La clase suelo desnudo es la que tiene precisiones más bajas; esto se debe a que tiende a confundirse con la clase antrópico. Las clases arboladas (eucalipto, coníferas, frondosas) presentan precisiones de usuario y productor mayores: varían entre 82% y 94%. Las precisiones de usuario y productor para las cortas y las áreas en regeneración son también elevadas (varían entre 84% y 100%).

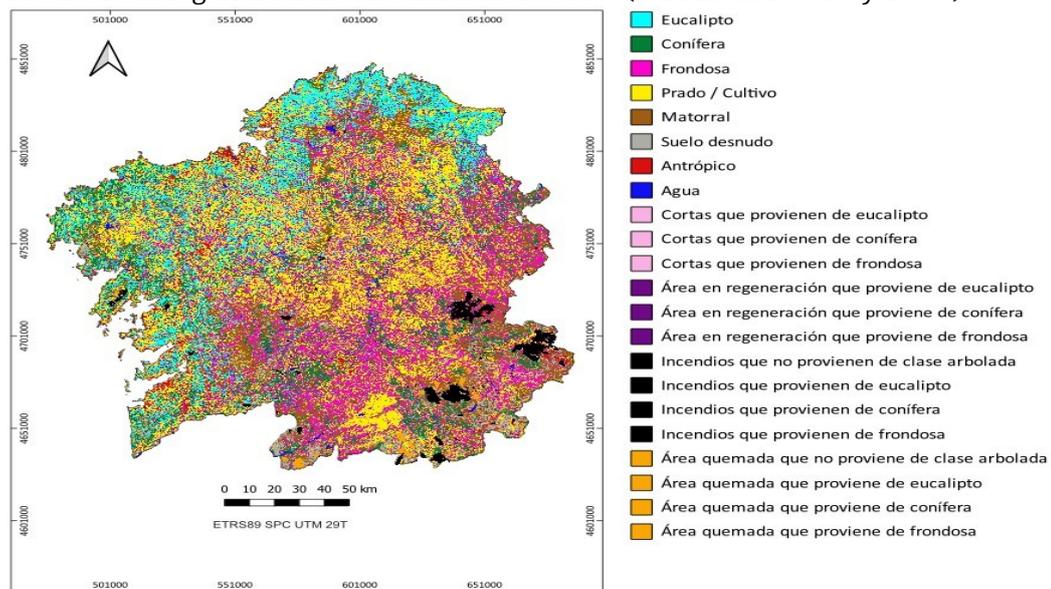


Figura 4. Mapa ráster de coberturas del año 2022.

Tabla 2. Matriz de confusión del mapa ráster. EUC: Eucalipto, CON: Conífera, FRO:

Otras frondosas, COR: Cortas del año, REG: Áreas en regeneración, CUL/PAS: Cultivos y pastos, MAT: Matorrales, SUE: Suelo desnudo, ANT: Antrópico, AGU: Agua, PA: Precisión de productor, UA: Precisión de usuario.

MATRIZ DE CONFUSIÓN. GALICIA 2022													
Valores de referencia													
Clase	EUC	CON	FRO	COR	REG	CUL/ PAS	MAT	SUE	ANT	AGU	TOTAL	UA	
Valores clasificados.	EUC	467	47	21	0	4	2	27	2	0	0	570	82%
	CON	40	453	17	0	1	5	47	0	6	1	570	79%
	FRO	5	4	533	0	4	3	18	0	3	0	570	94%
	COR	8	10	16	492	4	2	11	21	6	0	570	86%
	REG	6	12	26	1	477	9	23	9	7	0	570	84%
	CUL/ PAS	2	1	14	0	3	490	33	13	12	2	570	86%
	MAT	9	15	6	0	1	5	514	13	7	0	570	90%
	SUE	1	2	1	0	7	15	52	355	137	0	570	62%
	ANT	0	2	1	0	1	11	4	57	490	4	570	86%
	AGU	0	0	0	0	0	0	0	1	1	568	570	100%
TOTAL	538	546	635	493	502	542	729	471	669	575	5700		
PA	87%	83%	84%	100%	95%	90%	71%	75%	73%	99%		85%	

4.2. Mapa vectorial

La Figura 5 presenta el mapa vectorial correspondiente al año 2022 producido para toda Galicia por la metodología descrita. La Figura 6 presenta un detalle en el que se puede observar una comparación entre el mapa ráster y el mapa vectorial, así como fuentes de referencia como la ortofotografía PNOA 2020 (CNIG, 2023) y el MFE (MITECO, 2011). Este detalle permite observar como el mapa ráster tiene mayor grado de detalle espacial pero también cierto grado de ruido, especialmente en el borde de las parcelas. Por el contrario, el mapa vectorial permite difuminar este ruido. Por otro lado, la comparación con el MFE permite observar cómo tanto el mapa ráster como el mapa vectorial reflejan con mayor detalle la realidad de un territorio dominado por el minifundismo.

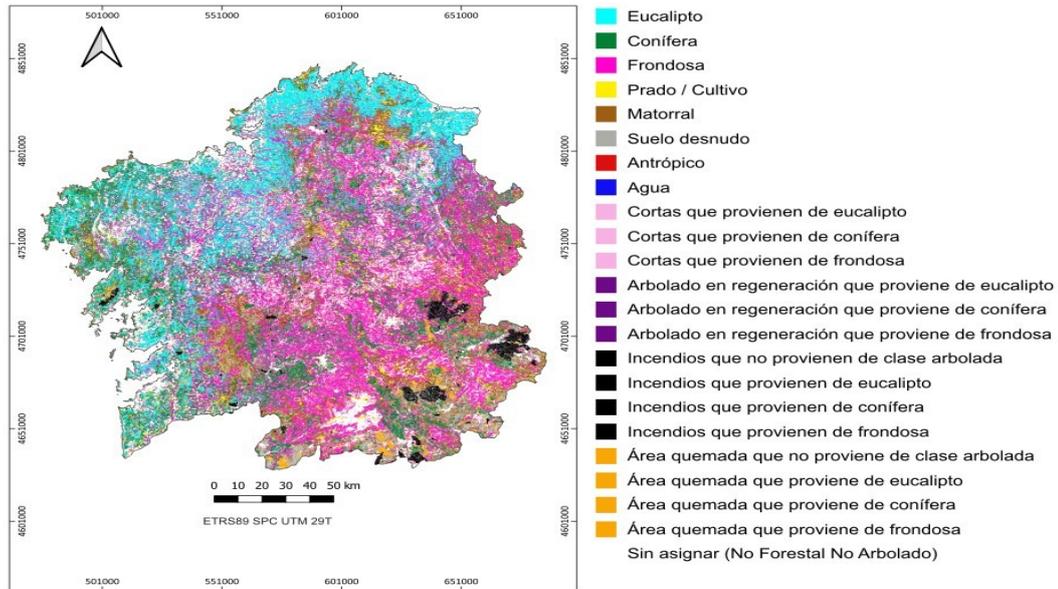


Figura 5. Mapa vectorial de coberturas del año 2022.

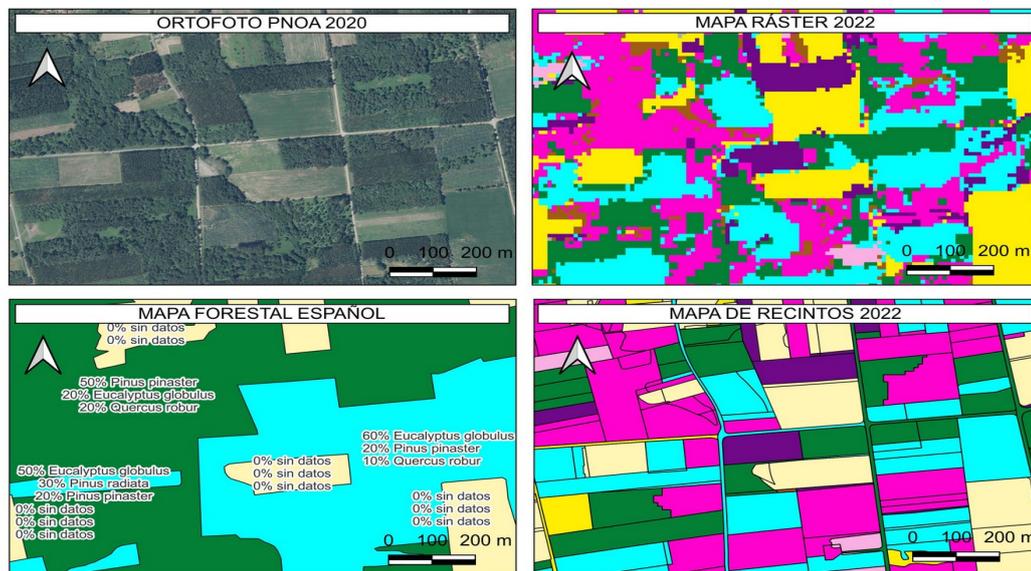


Figura 6. Detalle comparación mapa ráster 2022, mapa vectorial 2022, MFE y ortofototo PNOA 2020.

5. Discusión

Este trabajo demuestra que Sentinel-2 es una herramienta consistente para el mapeado automático de los bosques a escala de territorial, incluso en zonas forestales caracterizadas por minifundismo y altas tasas de cambio. Esto es destacable especialmente si se considera que Sentinel-2 es una fuente de datos de acceso abierto que seguirá funcionando en el futuro (TOULEMONT et al., 2021). En consecuencia, estos mapas pueden utilizarse como complemento a la cartografía oficial actual, el MFE (MITECO, 2011), ya que permiten tener datos espaciales con un mayor grado de actualización (anual frente a decenal) y una mayor resolución espacial (100 m² respecto a 1 ha). Así mismo esta metodología podría ser aplicada a otras regiones. El aumento de la resolución temporal es importante dada la necesidad de evaluar los impactos del cambio climático y la incidencia de las políticas forestales en los recursos. Además, la resolución espacial es relevante ya que en Europa hay una tendencia al aumento de regiones dominadas por



minifundismo (WINKEL et al. 2022).

La precisión alcanzada está en línea con las precisiones reportadas con otros mapas de cobertura producidos en Europa como Malinowski et al. (2020) o GRIFFITHS et al. (2019). La gran diferencia del mapa presentado en relación a otros mapas previamente realizados o disponibles reside en la leyenda. En este caso se incluyen clases correspondientes a cambios y áreas en transición. Según WULDER et al. (2018) integrar mapas de cobertura del suelo y mapas de cambio debería ser un requerimiento esencial de cualquier programa de monitorización de las coberturas del suelo. Los mapas integrados producidos anualmente permiten mejorar la monitorización del territorio y evitar los errores derivados de la comparación directa entre mapas de coberturas del suelo (ALONSO et al. 2022).

El flujo de trabajo presentado permite obtener tanto mapas en formato ráster como mapas en formato vectorial. Esta estrategia es seguida en otras regiones como UK (UKCEH, 2020) ya que ambos mapas presentan ventajas. Una estructura basada en vectores coincidentes con parcelas catastrales (o subdivisiones de estas) puede facilitar la interoperabilidad con algunos procedimientos administrativos y, en consecuencia, puede facilitar el uso de estos productos en la gestión forestal (SOHL et al., 2017; GONZÁLEZ-CARPIO & RODRÍGUEZ, 2017). Por el contrario, una estructura de mapa ráster con alta resolución espacial aporta información valiosa acerca de la distribución espacial de los recursos (ALONSO et al., 2022). Por ello, la selección de la estructura cartográfica a utilizar dependerá necesidades del usuario final y de la finalidad última del uso del mapa (ALONSO et al., 2022).

6. Conclusiones

Este trabajo presenta una metodología que permite monitorizar la cobertura forestal de Galicia con un alto grado de resolución espacial (10 m) y de actualización (actualización anual). La metodología da como resultado un mapa anual cuya leyenda integra las coberturas forestales estables (eucaliptos, coníferas, otras frondosas, matorral), con los cambios producidos en el territorio en la anualidad de estudio (cortas e incendios) y las coberturas en transición (áreas en regeneración y áreas quemadas). Los mapas pueden ser obtenidos tanto en formato ráster, lo cual ofrece mayor detalle en la distribución espacial del recurso forestal, como en formato vectorial, lo que permite unificar el recurso forestal con las unidades de gestión. Los mapas desarrollados son la cartografía base del IFCG y actualmente están disponibles para visualización y descarga los mapas correspondientes a la anualidad 2022 y 2023 (XUNTA DE GALICIA, 2024).

7. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Convenio para la realización del Inventario Forestal Continuo de Galicia financiado por la Conselleria de Medio Rural de la Xunta de Galicia bajo el proyecto: 2020CONVINVENTARIOFORESTALR002. Además, para su realización Andrés Rodríguez-Dorna contó con la financiación del contrato predoctoral 2023 (00VI 131H 679 6410211) por parte de la Universidad de Vigo y Laura Alonso contó con la financiación del Programa Postdoctoral de la Xunta de Galicia (ED481B_059) y del Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (FPU19/02054).

8. Bibliografía

ALONSO, L.; PICOS, J.; ARMESTO, J.; 2021. Forest land cover mapping at a regional scale using multi-temporal Sentinel-2 imagery and RF models. *Remote Sens.* 13, 2237. <https://doi.org/10.3390/rs13122237>.

ALONSO, L.; PICOS, J.; ARMESTO, J.; 2023. Automatic forest change detection



through a bi-annual time series of satellite imagery: Toward production of an integrated land cover map. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 118, 103289. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103289>.

ALONSO, L.; RODRÍGUEZ, A.; PICOS, J.; ARMESTO, J.; 2022. Análisis comparado de métodos de cartografía forestal en áreas de minifundio a partir de teledetección satelital: Recuento de píxeles vs uso mayoritario en parcelas. 8º Congreso Forestal Español: Lleida 2022, Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF), 2022.

CNIG (CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA); 2015. LIDAR 2ª Cobertura (2015-2022) de España. Disponible online: https://www.idee.es/csw-inspire-idee/srv/spa/catalog.search?#/metadata/spainLIDAR_cob2 (acceso el 17 octubre 2024).

CNIG; 2023. Ortofotos PNOA Máxima Actualidad. Disponible online: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/ortofoto-pnoa-maxima-actualidad> (acceso el 17 octubre 2023)

ESA; 2024. Documentation: Copernicus Sentinel-2 mission. Disponible online: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/SentinelMissions/Sentinel2.html> (acceso el 17 octubre 2024).

FAO; 2020. Better Data, Better Decisions – Towards Impactful Forest Monitoring. Forestry Working Paper 16. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb0437en>.

FEGA; 2020. Servicio ATOM de descarga de datos. Disponible online: <https://www.fega.gob.es/orig/> (acceso el 17 octubre 2024).

FLOOD, N.; 2013. Seasonal composite Landsat TM/ETM+ images using the medoid (a multi-dimensional median). *Remote Sensing* 5(12), 6481–6500. <https://doi.org/10.3390/rs5126481>.

FRANCINI, S.; HERMOSILLA, T.; COOPS, N.C.; WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; CHIRICI, G.; 2023. An assessment approach for pixel-based image composites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 202, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.06.002>.

GOOGLE; 2022a. Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A. Disponible online: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED#description (acceso el 17 octubre 2024).

GOOGLE; 2022b. Sentinel-2: Cloud Probability. Disponible online: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_CLOUD_PROBABILITY#description (acceso el 17 octubre 2024).

GRIFFITHS, P.; NENDEL, C.; HOSTERT, P.; 2019. Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sens. Environ.* 220, 135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>.

INGLADA, J.; VINCENT, A.; ARIAS, M.; TARDY, B.; MORIN, D.; RODES, I.; 2017. Operational high resolution land cover map production at the country scale using satellite image time series. *Remote Sens.* 9, 95. <https://doi.org/10.3390/rs9010095>.

INSTITUTO DE RECURSOS MUNDIALES; 2022. Global Forest Watch. Disponible online: <https://www.globalforestwatch.org/> (accessed on 31 March, 2022).

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN; 2021. Mapa de cultivos y superficies naturales. Disponible online: <http://mcsncyl.itacyl.es/> (accessed on 21 July, 2021).



KENNEDY, R.E.; YANG, Z.; COHEN, W.B.; 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment* 114 2897–2910. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>.

MALINOWSKI, R.; LEWIŃSKI, S.; RYBICKI, M.; GROMMY, E.; JENEROWICZ, M.; KRUPIŃSKI, M.; NOWAKOWSKI, A.; WOJTKOWSKI, C.; KRUPIŃSKI, M.; KRÄTZSCHMAR, E.; ET AL.; 2020. Automated production of a land cover/use map of Europe based on Sentinel-2 imagery. *Remote Sens.* 12, 3523. <https://doi.org/10.3390/rs12213523>.

MASILIŪNAS, D.; TSENDBAZAR, N.-E.; HEROLD, M.; VERBESSELT, J.; 2021. BFASST Lite: A lightweight break detection method for time series analysis. *Remote Sens.* 13 3308. <https://doi.org/10.3390/rs13163308>.

MITECO; 2011. Metodología del MFE25. Disponible online: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/mapa-forestal-espana/metodologia_mfe_25.html (acceso el 17 octubre 2024).

MITECO; 2021. Sistema de Información Geográfico de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Disponible online: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/formacion/sigpac_tcm30-429772.pdf (acceso el 17 octubre 2024).

MITECO; 2022. Anuario de estadística forestal 2022. Disponible online: <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/estadisticas/aef2022/Anuario%20Estadistica%20Forestal%202022.pdf> (acceso el 17 octubre 2024).

MITECO; 2024. Los incendios forestales en España: Avances informativos. Disponible online: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/estadisticas-avances.html> (acceso el 17 octubre 2024).

MUNDIALIS; 2019. Germany 2019 – Land cover based on Sentinel-2 data. Disponible online: <https://www.mundialis.de/en/deutschland-2019-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten/> (accessed on 21 July, 2021).

PAN, Y.; BIRDSEY, R.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.; KURZ, W.; ET AL.; 2011. Large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333, 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.

S2GLC; 2017. Map of Europe. Land Cover Map of Europe. Disponible online: <http://s2glc.cbk.waw.pl/extension> (accessed on 21 July, 2021).

TOULEMONT, A.; OLIVIER, M.; CLERC, S.; BELLOUARD, R.; REINA, F.; GASCON, F.; LUCE, J.F.; MAVROCORDATOS, C.; BOCCIA, V.; 2021. Copernicus Sentinel-2C/D Multi Spectral Instrument full field of view spectral characterization. *Proc.SPIE* 11858, 118580V. <https://doi.org/10.1117/12.2593729>.

UKCEH (UK ENVIRONMENTAL INFORMATION DATA CENTRE); 2020. Land Cover Map 2020. Disponible online: <https://catalogue.ceh.ac.uk/documents/14a9ec05-071a-43a5-a142-e6894f3d6f9d> (accessed on 31 March, 2022).

WINKEL, G.; LOVRIĆ, M.; MUYS, B.; KATILA, P.; LUNDHEDE, T.; PECURUL, M.; PETTENELLA, D.; PIPART, N.; PLIENINGER, T.; PROKOFIEVA, I.; ET AL.; 2022. Governing Europe's forests for multiple ecosystem services: Opportunities, challenges, and policy options. *Forest Policy and Economics* 145, Article 102849. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102849>.



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, 4254–4284. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1452075>.

XUNTA DE GALICIA; 2015. Proposta de directrices para a revisión do Plan Forestal de Galicia. Disponible online: https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/temas/forestal/plan-forestal/Directrices_PFG_def.pdf (acceso el 17 octubre 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2019. Voo LiDAR 2019. Disponible online: <https://xeocatalogo.xunta.gal/xeocatalogo/srv/api/records/6283dbcc-112e-4d77-9350-833181a7f353> (acceso el 17 octubre 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2021. 1ª Revisión del Plan Forestal de Galicia. Disponible online: <https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/temas/forestal/plan-forestal/20211112-Plan-Forestal-Galicia-2021-2040-cast.pdf> (acceso el 17 octubre 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2024. Inventario Forestal Continuo de Galicia. Disponible online: <https://invega.xunta.gal/invega/> (acceso el 17 octubre 2024).