



2025 | **16-20**
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1719

Organiza





Cartografía de hábitats forestales de alto valor para la biodiversidad en Aragón

LÓPEZ CALZADO, A. (1), JUEZ CARRETÓN, L. (1), BARRERA DEL AMO, C. (1), ALONSO PONCE, R. (1), LÓPEZ DEL RÍO, R. (2)

(1) for forest technologies SLL.

(2) Departamento de Medio Ambiente y Turismo. Gobierno de Aragón.

Resumen

Los bosques son ecosistemas terrestres diversos y multifuncionales, con estructura compleja y proveedores de múltiples servicios ecosistémicos, entre los cuales destaca ser refugio de biodiversidad. El objetivo de este trabajo es desarrollar una cartografía con los parámetros clave de los hábitats forestales, en una superficie de 4,8 millones de ha, para identificar áreas de alto valor de biodiversidad y facilitar la planificación y gestión forestal en Aragón, integrando criterios de biodiversidad. El problema se aborda desde dos perspectivas: (i) analizando datos puntuales de las parcelas del IFN 4 y obteniendo estadísticas por biorregiones, y (ii) utilizando información remota (de sensores activos y pasivos) para, mediante técnicas de modelización, obtener cartografía digital de los indicadores calculados de manera espacialmente explícita y continua. Se han identificado los 15 indicadores más relevantes de los parámetros estudiados relacionados con un elevado valor para la biodiversidad, siendo éstos relativos a la diversidad de especies, a la diversidad estructural y a la diversidad de hábitats. También se evalúa la continuidad de las masas forestales desde la segunda mitad del siglo XX, utilizando ortofotografías históricas y tecnologías geoespaciales para analizar la ocupación y cobertura forestal, destacando áreas con recolonización significativa y bosques de alta continuidad temporal.

Palabras clave

Modelización, ecosistemas, sensores, conservación, madurez.

1. Introducción

Los bosques constituyen los ecosistemas terrestres más diversos. La compleja estructura forestal y la variedad de procesos ecológicos esenciales que sostienen conlleva, además, que los bosques configuren sistemas multifuncionales por excelencia.

Las especiales características estructurales de los bosques maduros son el hábitat de gran número de especies altamente especializadas, que no tienen cabida en las fases más jóvenes del bosque y quedan por ello restringidas a los rodales más maduros. La escasez de este tipo de situaciones de madurez hace que la biodiversidad forestal relacionada con fases senescentes del bosque se encuentre muy amenazada: aves, quirópteros, coleópteros saproxílicos, flora vascular, líquenes y hongos.

La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad



y el Decreto 129/2022, de 5 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por la que se crea el Listado Aragonés de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial reconoce la existencia de un conjunto de especies catalogadas vinculadas a los bosques cuya conservación se debe garantizar mediante los correspondientes planes de protección y conservación.

En este contexto, surge la necesidad de herramientas eficaces que permitan identificar y proteger hábitats forestales de alto valor para la biodiversidad. Este trabajo aborda esa necesidad mediante el desarrollo de una cartografía detallada que integra parámetros clave de biodiversidad de forma sistemática y espacialmente explícita de los ecosistemas forestales en Aragón, abarcando una superficie de 4,8 millones de hectáreas.

Esta cartografía permitirá identificar aquellos rodales con mayor valor para la conservación de especies relacionadas con estos hábitats con elevado grado de madurez y con ello facilitar la delimitación del ámbito de los preceptivos planes de recuperación o conservación de estas especies, además de facilitar la zonificación en la planificación y gestión forestal.

La integración de criterios de conservación de la biodiversidad en la gestión forestal requiere herramientas de identificación y diagnóstico operativas que faciliten su aplicación por gestores y la zonificación de rodales en función de los servicios para la biodiversidad que presta.

A pesar de la gran complejidad de relaciones biológicas existentes en un ecosistema forestal, es posible identificar las variables clave que influyen de forma más significativa en la biodiversidad que éste aloja. Muchas de ellas son fácilmente identificables y medibles sin conocimientos específicos. Por ello, diversos autores enfatizan la relevancia y utilidad de los indicadores indirectos para describir la biodiversidad forestal (por ejemplo, Lindenmayer et al. 2000; Larsson et al. 2001; Tews et al. 2004).

El Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) se presenta como una herramienta clave para la planificación y gestión forestal, diseñada para facilitar la integración de criterios de conservación de la biodiversidad en el manejo multifuncional de los bosques. Este índice estima la capacidad de acogida de biodiversidad a escala de rodal, evaluando variables relacionadas con su composición, estructura y contexto mediante una metodología rápida basada en 10 variables (Baiges et al. 2022).

Algunos proyectos como el LIFE RedBosques han desarrollado las herramientas para la identificación de rodales maduros, dando pie a que muchas comunidades autónomas hayan iniciado el proceso de identificación de los mismos, que se integrarán en una Red de Rodales de Referencia de ámbito nacional.

La llegada de los Fondos europeos NextGenerationEU ha posibilitado plantear el inicio de una línea de trabajo que permita trabajar a una escala relevante en la



mejora de la biodiversidad forestal en general.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es desarrollar una cartografía con los parámetros clave de los hábitats forestales en Aragón, para identificar áreas de alto valor para la biodiversidad y facilitar la planificación y gestión forestal, integrando parámetros clave de biodiversidad.

Los objetivos específicos son:

- Análisis de indicadores clave relacionados con la biodiversidad forestal a partir de las parcelas del 4º Inventario Forestal Nacional (IFN4) y obteniendo estadísticas por biorregiones.
- Integración de datos de sensores remotos activos y pasivos para, mediante técnicas de modelización, obtener cartografía digital de los indicadores calculados de manera espacialmente explícita y continua.
- Evaluación de la continuidad histórica de los bosques aragoneses, desde mediados del siglo XX hasta la actualidad mediante el análisis de ortofotografías históricas y tecnología geoespaciales.
- Análisis de la fragmentación de la cobertura forestal.

3. Metodología

El presente trabajo se desarrolla mediante dos líneas principales de actuación: el análisis, tipificación y estudio de la información de las parcelas del IFN4 para calcular indicadores clave relacionados con la biodiversidad forestal, y la generación de cartografía digital mediante modelización espacial, integrando datos remotos y geoespaciales. Estas líneas de trabajo permiten abordar el análisis desde una perspectiva tanto puntual como espacialmente continua.

Análisis, tipificación y estudio de la información de las parcelas del IFN4

Se analizan los datos disponibles en las parcelas del IFN4, calculando una amplia gama de parámetros relevantes para la biodiversidad forestal según las bases del IBP (Baiges et al. 2022), que se agrupan y listan en base a los siguientes indicadores y criterios (Vayreda et al. 2019):

- **Composición específica:** El número de especies autóctonas y exóticas (incluyendo invasoras), la presencia de especies raras y la identificación de pequeñas poblaciones aisladas o marginales en sus rangos de distribución.
- **Complejidad estructural:** La cobertura media de cinco estratos de vegetación, el estado de la masa, índices de diversidad vertical y de diversidad de clases diamétricas, y variables clásicas de inventario.
- **Senectud:** La cantidad de madera muerta en pie y en el suelo, clasificada por tamaños y grados de descomposición, y el número de árboles vivos grandes.



- **Hábitats y microhábitats:** Los porcentajes de superficie ocupada por diversos tipos de hábitats (como rocas, humedales, líquenes, vegetación herbácea, etc.), así como la frecuencia de microhábitats (cavidades en troncos, nidos, montones de ramas, etc.).
- **Dinámica:** La presencia de regeneración y la fracción de cabida cubierta ramoneada según distintos grados de ramoneo.

Los datos recopilados se agrupan por formaciones forestales y biorregiones y se procesan mediante análisis estadísticos, permitiendo establecer umbrales para clasificar valores con un alto valor para la biodiversidad.

Modelización cartográfica para la generación de capas ráster y vectoriales de parámetros forestales

La segunda línea de trabajo consiste en la generación de capas ráster y vectoriales mediante técnicas de modelización espacial y aprendizaje automático. Las principales fuentes de información empleadas incluyen datos del IFN4, el Mapa Forestal de España, datos LiDAR del Programa Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), imágenes de Sentinel-1 y 2, y ortofotografías históricas (PNOA y Vuelo Americano, serie B).

La información se genera en formato ráster de alta resolución, con un tamaño de píxel de 10 m y de manera espacialmente continua. Para las variables puntuales procedentes de las bases de datos del IFN se utilizan técnicas de modelización para extenderlas a toda la superficie forestal arbolada del territorio, según las regiones biogeográficas establecidas para Aragón.

A partir de la información LiDAR y de teledetección, se evalúan parámetros como la cobertura estratificada y la diversidad horizontal, modelizando la información del arbolado y empleando los datos del IFN4 para contrastar los resultados obtenidos.

La continuidad temporal se evalúa mediante la realización de un análisis geoespacial empleando las ortofotografías históricas desde el Vuelo Americano serie B de 1956-57 para cuantificar y analizar la evolución sucedida en cuanto a la ocupación y el grado de cobertura de las actuales masas forestales, con el objetivo de identificar las áreas donde se han producido las mayores tasas de ocupación/recolonización de bosque durante los últimos 70 años e identificar bosques de alta continuidad temporal, diferenciando entre los que han modificado sus características en cuanto a grado de cobertura y los que no han modificado sustancialmente su estructura. Este análisis sólo se lleva a cabo en la superficie forestal de Aragón que se encuentra arbolada en la actualidad. Para ello, se clasifican las masas según su Fracción de Cabida Cubierta (FCC), permitiendo la valoración del cambio de los distintos niveles de cobertura.

La metodología aplicada permite generar capas de alta resolución espacial que



integran parámetros clave de biodiversidad forestal. Se espera que estos resultados constituyan una base operativa para planificadores y gestores, facilitando la identificación de áreas prioritarias para la conservación.

4. Resultados

En el momento de la redacción de esta comunicación, el proyecto se encuentra en proceso y los datos LiDAR de la Tercera Cobertura del PNOA para Aragón todavía no están disponibles. Por lo tanto, aún no se han obtenido resultados de la modelización cartográfica. En cualquier caso, a continuación se describen los resultados obtenidos y los esperados:

Cartografía de indicadores clave de biodiversidad forestal

Generación de una cartografía de alta resolución que represente indicadores clave para la biodiversidad.

Identificación de áreas prioritarias para la conservación

Delimitación de rodales forestales con características excepcionales, entre ellos:

- Bosques maduros con altos niveles de senescencia.
- Regiones con elevada diversidad estructural y específica.
- Zonas críticas para la conservación de especies protegidas o amenazadas.

Análisis de continuidad histórica

El estudio geoespacial basado en ortofotografías históricas permite identificar:

- Áreas con alta continuidad temporal desde mediados del siglo XX.
- Zonas donde se han producido tasas significativas de recolonización forestal, indicando procesos naturales de recuperación del bosque.
- Diferenciación entre bosques estables y aquellos que han experimentado cambios significativos en su Fracción de Cobertura (FCC).



Figura 1. Ortophotografía del Vuelo Americano, serie B.

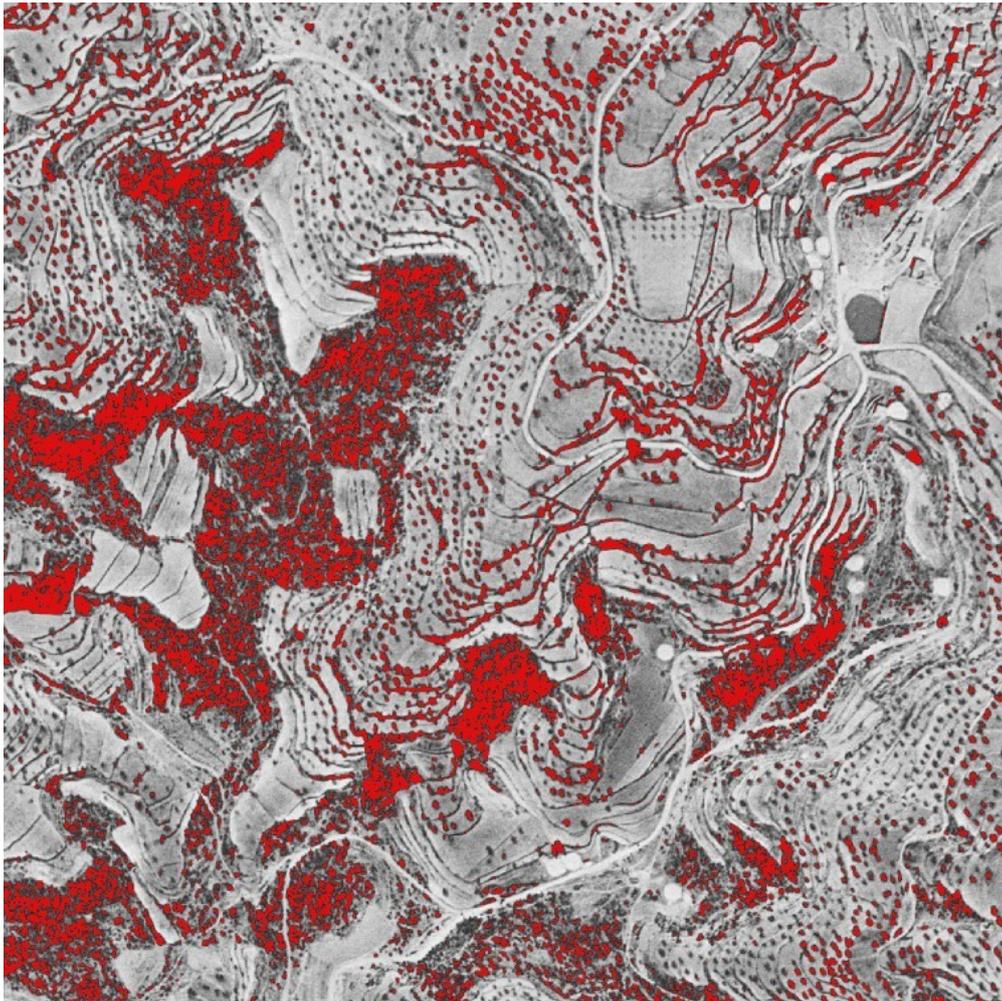


Figura 2. Predicción del arbolado del modelo desarrollado.

Priorización de áreas de conservación

Elaboración de una propuesta de zonificación para la conservación de hábitats forestales de alto valor en base a los indicadores calculados. Estas áreas prioritarias servirán como base para la implementación de planes de recuperación y gestión sostenible, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad a nivel regional.

5. Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo destacan la utilidad de combinar datos de inventarios forestales, sensores remotos y análisis geospaciales para identificar y caracterizar hábitats forestales de alto valor para la biodiversidad. La metodología aplicada ha permitido avanzar en la generación de herramientas prácticas y espacialmente explícitas, que son esenciales para la planificación y gestión forestal sostenible en Aragón.



Relevancia de los indicadores seleccionados

La identificación de especies arbóreas autóctonas, exóticas e invasoras evidencia el delicado equilibrio entre la biodiversidad y la presión ejercida por las especies alóctonas, un factor crucial para comprender las dinámicas ecológicas y evaluar los riesgos para la conservación de los hábitats. En este contexto, la presencia de especies raras y marginales, junto con microhábitats, subraya el papel de ciertas áreas como refugios ecológicos, proporcionando hábitats esenciales para especies especializadas y desempeñando un rol clave en la preservación de la biodiversidad. Además, la estratificación vertical y la diversidad de clases diamétricas reflejan un estado estructural dinámico, fundamental tanto para los servicios ecosistémicos como para la conservación de los hábitats forestales.

Se espera que la cartografía basada en indicadores como la diversidad específica, la complejidad estructural y la senescencia confirme la relevancia de estos parámetros en la identificación de áreas de alto valor para la biodiversidad. Este enfoque no solo sería coherente con investigaciones previas (Lindenmayer et al., 2000; Larsson et al., 2001), que ya señalaron estos indicadores como claves para evaluar la biodiversidad forestal, sino que también subrayaría la importancia de proteger rodales maduros. Áreas caracterizadas por altos niveles de senescencia y abundancia de microhábitats son esenciales para la supervivencia de especies altamente especializadas y amenazadas, como destacan iniciativas como el proyecto LIFE RedBosques.

Contribución al análisis de la continuidad temporal

El análisis de continuidad temporal revela patrones de recolonización forestal y áreas con alta estabilidad estructural. Se espera que este enfoque refuerce la utilidad de las ortofotografías históricas como herramienta para evaluar dinámicas de uso del suelo y reconocer bosques que han mantenido una estructura madura durante décadas, y que la diferenciación entre bosques estables y aquellos con cambios significativos aporte un marco para priorizar acciones de conservación basadas en la antigüedad y el grado de intervención humana.

Limitaciones y desafíos metodológicos

Si bien los modelos han permitido extrapolar datos puntuales del IFN4 a todo el territorio forestal, su precisión depende de la calidad y resolución de los datos de entrada. La integración de nuevas fuentes de datos, la actualización del MFE o una mayor densidad en los datos LiDAR, podrían mejorar la precisión de los resultados.

A pesar de los avances logrados, la falta de disponibilidad de la Tercera Cobertura LiDAR del PNOA para Aragón representa una limitación importante en la obtención de datos más recientes y precisos sobre la estructura de las masas



forestales. Esta cobertura, cuando esté disponible, permitirá refinar los modelos espaciales y actualizar la cartografía generada, especialmente en lo que respecta a la evaluación de parámetros estructurales como la cobertura estratificada, la diversidad horizontal y la senescencia. Esta situación resalta la necesidad de mantener un flujo constante de datos geoespaciales actualizados para mejorar las herramientas de diagnóstico y planificación forestal.

Aplicabilidad y perspectivas futuras

Se anticipa que los mapas generados constituyan una herramienta valiosa para gestores forestales y responsables de la conservación, facilitando la implementación de planes de gestión que integren criterios de biodiversidad. Este enfoque se alinea con las metas establecidas por la Ley 42/2007 y el Decreto 129/2022, que subrayan la importancia de proteger especies y hábitats vulnerables.

A futuro, la replicabilidad de esta metodología en otras regiones o ecosistemas podría ampliar su alcance, contribuyendo a una red nacional de hábitats forestales de alto valor y fomentando una gestión forestal adaptativa. Asimismo, la incorporación de dinámicas climáticas en los modelos permitiría evaluar cómo el cambio climático podría afectar a la distribución de estos hábitats prioritarios.

6. Conclusiones

Este estudio destaca el potencial de combinar datos de inventarios forestales, sensores remotos y tecnologías geoespaciales para identificar hábitats forestales valiosos para la biodiversidad en Aragón. La metodología propuesta facilita la identificación de áreas clave para la conservación y la integración de criterios de biodiversidad en la planificación forestal. Además, abre la posibilidad de replicar este enfoque en otros contextos y mejorar su alcance mediante futuras investigaciones.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero proporcionado por los fondos europeos NextGenerationEU, que han facilitado el desarrollo de herramientas innovadoras para la conservación y planificación forestal. Agradecemos asimismo la colaboración de las instituciones y profesionales que han contribuido con datos, recursos y conocimiento técnico para la realización de este estudio.

8. Bibliografía

BAIGES, T.; CERVERA, T.; PALERO, N.; GONIN, P.; LARRIEU, L.; 2022. El Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) como herramienta de apoyo a la gestión forestal: fundamentos y aplicaciones en Cataluña. *SCFE* 646.



LARSSON, T.B. & ANGELSTAM, P. & BALENT, G. et al.; 2001. Biodiversity Evaluation Tools for European Forests. *Ecological bulletins* 50 237.

LINDENMAYER, D. & MARGULES, C. & BOTKIN, D.; 2000. Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management. *CONSERV BIOL.* 14 941-950.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M. C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F.; 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31 79–92.

VAYREDA J.; BATLLES C.; LERNER M.; VILA B.; PESCADOR D. S.; CHACÓN-LABELLA J.; LLORET F.; 2019. Desarrollo de un procedimiento estandarizado para generar datos de las variables ecológicas estructurales que permitan estimar el estado de conservación de los tipos de bosque y matorral utilizando como fuente de datos la tecnología LiDAR. Serie “Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat”. Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid.