

MEJORA DE LA CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR FORESTAL A LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

VALORACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS PROYECTOS
DE ABSORCIÓN FORESTAL: CRITERIOS E INDICADORES
PARA SU CUALIFICACIÓN.

DICIEMBRE DE 2025



El proyecto eco2for cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demo gráfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Este material ha sido desarrollado por:



ICIFOR–INIA, CSIC

En colaboración con:

- Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior. Comunidad Autónoma de Madrid (CAM): Nieves Cañada.
- Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC): Miriam Piqué.
- Diputación General de Aragón: Enrique Arrechea.
- Universidad de Huelva: Javier Vázquez.
- Universidad de la Laguna: Jaime Puértolas.
- ICIFOR–INIA, CSIC: Jesús Martínez Fernández.
- Universidad de Valladolid (UVa-CAMBIUM): Francisco Rodriguez, Jorge Ortiz Ayuso y Darío Domingo Ruiz.

Cómo citar:

Ramos, R., Núñez Manso, Y., Calama, R., y Pardos, M. 2025. Valoración de la biodiversidad de los proyectos de absorción forestal: criterios e indicadores para su cualificación. Informe inédito. Versión 1. ICIFOR, INIA–CSIC. © 2025 by RUBÉN RAMOS et al. is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

ÍNDICE

1. Marco del proyecto.....	5
2. Descripción de la metodología.....	6
Criterio 1. Vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático	9
Indicador 1. Índices de aridez y termicidad.....	9
Criterio 2. Erosión y Desertificación	12
Indicador 2. Estados erosivos.....	12
Indicador 3. Áreas con riesgo de desertificación	14
Criterio 3. Diversidad de Especies.....	17
Indicador 4. Composición de especies arbóreas	17
Indicador 5. Índices de diversidad.....	19
Indicador 6. Especies arbustivas de interés.....	21
Indicador 7. Diversidad de aves forestales comunes.....	25
Criterio 4. Diversidad Estructural.....	29
Indicador 8. Estructura vertical de la vegetación	29
Indicador 9. Medios acuáticos.....	31
Criterio 5. Diversidad Funcional.....	33
Indicador 10. Rasgos funcionales	33
Indicador 11. Modelos de distribución de especies.....	37
Criterio 6. Análisis Espacial	40
Indicador 12. Evolución superficie forestal	40
Indicador 13. Fragmentación forestal	44
Indicador 14. Regeneración.....	46
Indicador 15. Carbono orgánico del suelo (COS).....	49
Criterio 7. Resiliencia.....	51
Indicador 16. Regiones de procedencia	51
Indicador 17. Categoría del MFR.....	53
Criterio 8. Inclusión de los Proyectos dentro de Zonas de Protección.....	55
Indicador 18. Trasposición de las categorías UICN a la legislación española	55
Indicador 19. Instrumentos de gestión.....	58
Criterio 9. Gestión Forestal Adaptativa y Sostenible.....	59
Indicador 20. Evaluación de prácticas adaptativas.....	59
Indicador 21. Certificación forestal	61
Criterio 10. Restauración.....	63

Indicador 22. Éxito del proyecto	63
Criterio 11. Provisión de Servicios Ecosistémicos.....	68
Indicador 23. Indicadores de servicios ecosistémicos de los ecosistemas forestales	68
Criterio 12. Valoración Socioeconómica y Cultural.....	74
Indicador 24. Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales	74
3. Puntuación final de biodiversidad.....	84
4. Funcionamiento de la calculadora y ejemplo de uso.....	87
5. Agradecimientos	91
6. Referencias.....	92

INFORMACIÓN DEL DOCUMENTO

PROYECTO BF138 – CONVOCATORIA BIOECONOMÍA FORESTAL 2023	
Título del proyecto	Mejora de la contribución del sector forestal a la lucha contra el cambio climático
Acrónimo del proyecto	eco2for
Título acción	A4 Desarrollo de metodologías para cualificación de los proyectos de absorción
Título subacción	A.4.1. Metodologías para cualificación por mejora de biodiversidad de los distintos tipos de proyectos de absorción
Duración	M5–M16
Código resultado	R 1
Nombre del entregable	Metodologías para cualificación por mejora de biodiversidad de los distintos tipos de proyectos de absorción.
Entidad coordinadora de la acción	INIA
Entidad coordinadora de la subacción	INIA

1. Marco del proyecto

La Oficina Española de Cambio Climático (OECC) ha sido pionera en el desarrollo de un sistema voluntario de registro de huella de carbono, proyectos de secuestro de carbono y reducción de emisiones a través del “Proyecto Clima” (MITECO, 2021). En el sector forestal se ha despertado un alto interés por la generación de créditos ligados a proyectos de absorción por forestación o restauración post incendios. La implementación de nuevos proyectos de absorción de gestión forestal permitirá ampliar y mejorar los proyectos de forestación.

En este contexto, el proyecto “Mejora de la contribución del sector forestal a la lucha contra el cambio climático (ECO2FOR)” (ECO2FOR, 2024) pretende reforzar la lucha contra el cambio climático mediante el desarrollo de proyectos en el ámbito forestal, atrayendo inversión privada y contribuyendo al desarrollo de actividad económica en el medio rural y lucha contra la despoblación. Dentro del proyecto se contempla el desarrollo de metodologías para la cualificación de los proyectos de absorción. En concreto, se pretende el desarrollo de metodologías para la cualificación por mejora de biodiversidad de los distintos tipos de proyectos de absorción. Las metodologías para la cuantificación de los proyectos de absorción son esenciales para cuantificar de manera real y precisa los gases de efecto invernadero (GEI) de un proyecto, monitoreando los parámetros relevantes y cuantificando las reducciones o remociones de las emisiones de GEI, además de generar las unidades verificadas de carbono (VCU) (Real Decreto 163/2014, actualmente sustituido por Real Decreto 214/2025; MITECO, 2023a). Mediante un programa de acreditación de GEI, que implica la compra de créditos en el mercado voluntario de carbono, se pueden compensar las emisiones de GEI (MITECO, 2024a).

A nivel nacional existen dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂ que pueden inscribirse en el Registro de Huella de Carbono y Compensación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de la masa forestal tras incendio (MITECO, 2024b). Las metodologías desarrolladas hasta el momento se basan en una cuantificación de las absorciones de CO₂ considerando las especies forestales y dos intensidades de gestión, que permite el cálculo de las absorciones de los proyectos. Sin embargo, dichas absorciones se producen dentro de la complejidad característica del bosque/plantación, considerando los diferentes reservorios de carbono existentes (parte aérea y radical, matorral y herbáceas, madera muerta, suelo orgánico y hojarasca), así como otros factores como la variabilidad ambiental, climática y edáfica, la diversidad de especies, la diversidad estructural, etc., que le otorgan un valor añadido.

En sentido amplio, una simple cuantificación puede no ser definitoria de forma individual de toda la complejidad de los ecosistemas. Para definir esta complejidad, surge la necesidad de ir más allá de la cuantificación para dar un valor adicional a los proyectos de absorción. Así, el desarrollo de indicadores que recojan aspectos ecológicos, económicos y sociales, así como sus interacciones, pueden resultar de gran utilidad para definir, evaluar y realizar el seguimiento periódico de los objetivos y promover la mejora cuantitativa de los proyectos de absorción, mediante la consideración de su caracterización cualitativa.

El **objetivo** del proyecto es la definición de indicadores para las dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂, centradas en la biodiversidad: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de la masa forestal tras incendio. En este proceso de definición de los indicadores se tendrán en cuenta aspectos sociales, económicos, ambientales, culturales y espirituales, involucrando a los diferentes agentes implicados

en los proyectos de absorción de CO₂. Para ello, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- 1) Vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático.
- 2) Erosión y desertificación.
- 3) Diversidad de especies.
- 4) Diversidad estructural.
- 5) Diversidad funcional.
- 6) Análisis espacial.
- 7) Resiliencia.
- 8) Inclusión de los proyectos dentro de zonas de protección.
- 9) Gestión forestal adaptativa y sostenible.
- 10) Restauración.
- 11) Provisión de servicios ecosistémicos.
- 12) Valoración socioeconómica y cultural.

2. Descripción de la metodología

El presente documento se crea con el objetivo de facilitar el uso y la interpretación de la aplicación/calculadora creada para la valoración de biodiversidad de los proyectos de absorción forestal, titulada *Calculadora para la valoración de la biodiversidad de los proyectos de absorción forestal* (<https://saco.csic.es/s/Srr57ZRHZ2kkgkE>) (apartado 4. *Funcionamiento de la calculadora y ejemplo de uso*).

A continuación, quedarán descritos y desarrollados cada uno de los indicadores seleccionados para cada criterio, así como su puntuación cualitativa. Para un mejor entendimiento se han dividido los criterios en tres bloques: (1) Descripción del medio físico (Criterio 1 a 2), (2) Descripción del medio biótico (Criterio 3 al 7) y (3) Gestión y actuaciones humanas (Criterio 8 al 12).

Este es un documento guía que ha de seguirse criterio a criterio, profundizando en cada uno de los indicadores de forma exhaustiva para garantizar un adecuado y objetivo uso de la aplicación/calculadora de biodiversidad.

En la descripción de cada indicador se detallará el concepto teórico que justifica su elección y su relevancia en el contexto de la biodiversidad forestal, el desarrollo metodológico particular del mismo en el contexto del proyecto y su forma de aplicación para su trasposición a la calculadora de biodiversidad, así como las puntuaciones que ofrecerá en función de los cumplimientos de unos u otros escenarios. Estas puntuaciones son lo que se deberán incluir en la aplicación para poder obtener una puntuación final de biodiversidad.

La aplicación está desarrollada para aportar valores *ex post*, *ex ante* o ambos. Bajo el total de criterios, algunos indicadores podrán ser evaluados antes de la implantación del proyecto (*ex ante*); otros indicadores únicamente podrán ser evaluados tras la aplicación del proyecto (*ex post*); o incluso, antes y después de la ejecución del proyecto. En la

definición de la puntuación de los indicadores quedará especificado qué tipo de puntuación ha de utilizarse.

Independientemente de la naturaleza de las variables o valores de entrada a la aplicación, para hacer un cómputo global de puntuación de biodiversidad de los proyectos de absorción, resulta necesario la agrupación de estas variables. Por ello, en el presente documento se desarrollará una conversión de las puntuaciones que ofrecen los indicadores en una categorización de tres valores cualitativos: bueno, regular o pobre. Los criterios de esta categorización quedan definidos a partir del razonamiento teórico y de la experiencia práctica. También deben quedar incluidas las opciones “no aplica”, para los casos en los que los órganos promotores de los mismos no han indagado lo suficiente en las características y condiciones específicas de la zona del proyecto dando lugar a pérdidas de oportunidades de aplicar medidas concretas que mejoren la biodiversidad del sitio.

Esta agrupación de la puntuación en tres rangos se lleva a cabo para que, de forma individualizada, y en última instancia, todos los indicadores tengan las mismas categorías de puntuación, facilitando un valor final de biodiversidad. No obstante, no todos los indicadores tendrán el mismo peso en la puntuación de biodiversidad final, siendo necesaria una ponderación de cada indicador (apartado 3. *Puntuación final de biodiversidad*).

BLOQUE I: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Criterio 1. Vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático

Uno de los aspectos clave a considerar para el desarrollo de las metodologías para la cualificación de los proyectos de absorción es el calentamiento global. Desde la década de 1950, los efectos del cambio climático se han incrementado sin precedentes en los últimos decenios a milenios (IPCC, 2014). El cambio climático al que nos enfrentamos en la actualidad constituye una de las principales amenazas para el futuro de la biodiversidad (Parmesan, 2006), especialmente en regiones como la cuenca mediterránea (Arribas et al., 2012), debido a los incrementos esperados en la temperatura media y en la severidad de las sequías (Sala et al., 2000).

Indicador 1. Índices de aridez y termicidad

Marco teórico

Uno de los elementos claves para poder predecir la vulnerabilidad de las especies frente a los efectos del cambio climático son la temperatura y las precipitaciones. De esta forma, se han seleccionado como indicadores definitorios el índice de aridez de de Martonne (1926) y el índice de termicidad compensado de Rivas–Martínez (1987).

El índice de aridez de de Martonne (I_a) queda definido por la siguiente expresión:

$$I_a = P / (t_m + 10) \quad (\text{Ec. 1}),$$

donde P es la precipitación anual (mm) y t_m es la temperatura media anual (°C).

Los índices de termicidad se basan principalmente en la temperatura y se emplean para describir el ciclo térmico anual de una región con respecto a la productividad o crecimiento biológico (Rivas–Martínez, 1987). Para el desarrollo de las metodologías para la cualificación de los proyectos de absorción se emplea el índice de termicidad compensado de Rivas–Martínez (Ecuación 2). Este índice incorpora el efecto de la continentalidad, calculado a partir de la amplitud térmica, siendo una adaptación del índice de termicidad simple (I_{cs}) (Ecuación 3). Los valores mayores de termicidad indican una mayor afinidad o adaptación de la vegetación al calor, mientras que los menores indican lo contrario (Rivas–Martínez, 1987). El cálculo del índice de termicidad compensado (I_{tc}) varía en función de los valores de amplitud térmica y requiere del cálculo previo del índice de continentalidad (I_c) (Ecuación 2):

$$I_c = I_{cs} + [\text{altitud} \cdot 0,6/100] \quad (\text{Ec. 2}),$$

donde I_{cs} es el índice de continentalidad simple (Ecuación 3) y la altitud queda referida en metros (m).

$$I_{cs} = T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}} \quad (\text{Ec. 3}),$$

donde $T_{\text{máx}}$ es la temperatura media del mes más cálido del año (°C) y $T_{\text{mín}}$ es la temperatura media del mes más frío del año (°C).

Así, a nivel nacional, el cálculo del índice de termicidad compensado (I_{tc}) requiere de las siguientes reglas:

- (1) Si la amplitud térmica es menor a 8 (áreas hiperoceánicas), el índice de termicidad compensado (I_{tc}) se calcula mediante la fórmula:

$$I_{tc} = I_t - [10 \cdot (8 - I_c)] \quad (\text{Ec. 4}),$$

donde I_t es el índice de termicidad e I_c es índice de continentalidad.

$$I_t = (T + M + m) \cdot 10 \quad (\text{Ec. 5}),$$

donde T es temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$), M es la temperatura media de las máximas del mes más frío ($^{\circ}\text{C}$) y m es la temperatura media de las mínimas del mes más frío ($^{\circ}\text{C}$).

(2) Si la amplitud térmica se sitúa entre 8 y 18, el valor del índice de termicidad compensado (I_{tc}) se considera igual al del índice de termicidad (I_t), por lo tanto:

$$I_t = I_{tc} \quad (\text{Ec. 6}).$$

Desarrollo

Para la elaboración de estos índices a nivel nacional se han empleado los datos procedentes del Visor de Escenarios de Cambio Climático (CC) de AdapteCCa (2024). En concreto, se han descargado las estadísticas históricas (1971 – 2000) y las proyecciones de un futuro lejano (2071 – 2100), correspondientes al escenario descrito como RCP 4,5 por el Sexto Informe (AR6) del Grupo Intergubernamental del Panel de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este escenario se corresponde con un límite de calentamiento de 3°C para el año 2100, siendo en el que se aplican medidas de mitigación del mismo y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2021). El procedimiento seguido se encuentra descrito en Núñez Manso et al. (2025).

Se ha desarrollado cartografía de libre acceso mediante el empleo de las herramientas disponibles de *ArcGis online* (ESRI, 2025). En la página web del INIA, se podrá tener acceso a los visores del índice de aridez y el índice de termicidad de forma automática:

- Índice de aridez e índice de termicidad histórico (1971–2000).
- Índice de aridez e índice de termicidad futuro (2071–2100).
- Diferencia entre el índice de aridez y el índice de termicidad futuro e histórico.

Sin embargo, para el desarrollo de la aplicación, únicamente se tendrá que hacer uso y empleo de las diferencias entre el momento futuro y el momento histórico. Los enlaces directos son:

- Índice de aridez: <https://experience.arcgis.com/experience/7962906ae213478581ac4d7003c3d8ec>.
- Índice de termicidad: <https://experience.arcgis.com/experience/836acc30f04a45ffb710249fa3246ea3>.

Aplicación

A partir del uso de la diferencia entre el momento futuro y el histórico se definen cuáles serán las regiones de la Península más afectadas por el aumento de la temperatura y por el incremento de aridez. Estos indicadores ofrecen puntuaciones de biodiversidad *ex ante* y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: las mejores puntuaciones se obtendrán para los proyectos de absorción ubicados en las regiones donde se estime un mayor incremento de estos índices. Las ubicaciones con valores más elevados para los dos índices son aquellas en las que se predice un mayor aumento de la aridez y de la temperatura y, por tanto, es esperable que sufran una mayor predisposición a verse afectadas negativamente por estos fenómenos climáticos. En definitiva, son zonas más vulnerables frente a los efectos del cambio climático. Reducir la vulnerabilidad de estas regiones a nivel local resulta complicado. Sin embargo, se establecen unos límites máximos a partir de los cuales se invierte el valor al considerarse el aumento de los índices como “incompatible” con la flora. La correcta implantación de una masa forestal

es una medida de mitigación compensatoria frente al cambio climático tanto por absorción como por almacenamiento de CO₂. La acumulación de acciones localizadas de mitigación frente al cambio climático ayuda a reducir sus efectos a nivel global.

Las puntuaciones para el índice de aridez y el índice de termicidad son inherentes de la ubicación del proyecto. El órgano gestor tendrá que acudir al visor ya explicado y buscar la ubicación exacta en la que el proyecto está o será implantado. En ese momento, independientemente del visor utilizado (aridez o termicidad), se ofrecerá un valor de aumento. La resolución y detalle de este valor va asociado al tamaño de píxel, el cual para los dos visores es de 5,5 x 4,5 km.

Una vez obtenido ese valor, es el momento de dirigirse a la aplicación/calculadora. Dentro del CRITERIO 1, aparece un apartado correspondiente al *Indicador 1.1. Índice de aridez* e *Indicador 1.2. Índice de termicidad*. Para los dos apartados, el evaluador tendrá que seleccionar el desplegable dentro del rango en el que quede contenido el valor de aumento. De forma automática, ese valor de aumento es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre.

Índice de Aridez

- Bueno: valores comprendidos entre -17,5 a -12,8.
- Regular: valores entre -12,8 y -3,4.
- Pobre: valores entre -3,4 y 0.

Los valores comprendidos entre 0 y 6 no aplican ya que se trata de aumento de la humedad de la zona.

Índice de Termicidad Compensado

- Bueno: valores comprendidos entre 65 y 85.
- Regular: valores entre 45 y 65.
- Pobre: valores entre 30 y 50.

Criterio 2. Erosión y Desertificación

El incremento en la temperatura media y en la severidad de las sequías en la cuenca mediterránea (Sala et al., 2000) suponen un incremento de la aridez climática, una de las causas principales de vulnerabilidad de los suelos frente a los agentes de degradación, siendo uno de los factores más influyentes en la desertificación, junto con la erosión (MARM, 2008). En la actualidad, en España, más de 9 millones de hectáreas ya están catalogadas como zonas con un riesgo alto o muy alto de desertificación, siendo la erosión una de las principales causas de esta degradación (WWF, 2022).

Indicador 2. Estados erosivos

Marco teórico

El suelo se encuentra sometido a un ciclo repetido de formación y destrucción. La formación tiene su origen en la meteorización y la pérdida de suelo se encuentra asociada a la erosión, tanto eólica como hídrica (MITECO, 2022b).

En España, el problema de la erosión requiere especial atención porque puede conducir a la desertificación del suelo, secuencia final del proceso erosivo. De esta manera, como forma de prevención de la desertificación y para poder definir las áreas prioritarias de actuación, resulta necesaria la cuantificación y delimitación de las zonas de España donde el fenómeno erosivo presenta más intensidad y consecuencias más negativas (MITECO, 2022b).

Para ello, desde el Área de Hidrología y Zonas Desfavorecidas de la Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal se desarrolló el Mapa de Estados Erosivos en el que se definían, por estratos, las pérdidas de suelo en el territorio nacional o, lo que es lo mismo, las áreas críticas (MITECO, 2022b). La confección de este mapa se ha realizado teniendo solo en cuenta la erosión laminar o en regueros. Este tipo de erosión es la más interesante por su influencia en la degradación de los sistemas naturales, la pérdida de la productividad de la tierra y la alteración de los procesos hidrológicos, especialmente la erosión acelerada antrópicamente, que es la que ocasiona grandes pérdidas de suelo propiciada por la roturación de los terrenos en pendiente, la aplicación indiscriminada de prácticas agropecuarias inadecuadas, la deforestación o las grandes obras públicas (ITA, 2019). Este tipo de erosión y su cartografía correspondiente se estima de forma cuantitativa mediante la aplicación del modelo RUSLE (Luvai et al., 2022) que permite determinar las pérdidas de suelo medias anuales por unidad de superficie (MITECO, 2020a).

Desarrollo

De forma análoga a lo desarrollado en el Mapa de estados erosivos, se ha procedido a la descarga de la erosión laminar por niveles de la cartografía del Inventario Nacional de Suelos (INES) (MITECO, 2020b). A partir del tratamiento de esta capa de información geográfica, se obtiene una base de datos y cartografía a nivel nacional constituida por siete clases según pérdidas de suelo en T/ha·año, definidas en el establecimiento de niveles de erosión y los valores obtenidos en las parcelas de muestreo para los factores cultivo, pendiente, litofacies –erosionabilidad y agresividad de la lluvia.

Se ha desarrollado un visor cartográfico en línea que permite la visualización de esta cartografía, así como la obtención de los valores en cada punto. Esta información se encuentra disponible en Indicadores ECO2FOR (<https://experience.arcgis.com/experie>)

[nce/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755](https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755)) que incluye varias capas referentes a este documento.

Este indicador puede adquirir otro enfoque. En muchos de los proyectos forestales aparece contemplado el cálculo de pérdida de suelo a partir de la aplicación del modelo RUSLE. En esos casos, la aplicación del mapa de estados erosivos pierde fuerza en contraposición a un cálculo directo en el lugar de aplicación del proyecto, el cual ofrecerá valores más exactos y realistas con la situación del área de aplicación. En definitiva, una aplicación directa del cálculo ofrece mejores resultados que una estimación a partir de la cartografía aportada.

Aplicación

El indicador de estados erosivos en el presente documento queda definido por la categorización de los niveles erosivos obtenidos a partir del tratamiento de datos del Inventario Nacional de Suelos. Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: los proyectos desarrollados en áreas con tasas de erosión más elevadas tendrán mejores puntuaciones. La implantación de proyectos de forestación y reforestación tras incendio en zonas con altos valores de pérdida de suelo son interpretadas como una medida de prevención de la erosión, a partir de la instauración de una cubierta vegetal protectora y fijadora de suelos.

Los valores de pérdida de suelo para este indicador son inherentes de la ubicación del proyecto y pueden ser obtenidos de dos formas, siendo necesario establecer niveles de prioridad:

- Opción 1 (preferencia de uso): obtención de los valores de erosión a partir de aplicación del modelo RUSLE por parte del proyecto.
- Opción 2: obtención de los valores de erosión a partir de la aplicación de la cartografía base propuesta en el presente documento.

Independientemente de las dos opciones utilizadas, en la aplicación/calculadora para el presente indicador únicamente habrá un desplegable en el que aparezcan los rangos de niveles de erosión:

- En el caso de llevar a cabo la opción 1, el órgano evaluador tendrá que seleccionar el desplegable dentro del rango en el que quede contenido el valor de pérdida de suelo en T/ha·año.
- Para la opción 2, el órgano evaluador tendrá que acudir a la cartografía en línea propuesta (<https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755>) y buscar la ubicación exacta en la que el proyecto está o será implantado. Empleando la digitalización web del Mapa de Estados erosivos, el órgano evaluador obtendrá el valor de pérdida de suelo en función de los colores establecidos en la leyenda (incluyendo láminas de agua y núcleos urbanos). Este valor es el que tiene que ser introducido en la aplicación/calculadora.

Los valores de nivel de erosión, bien obtenidos de la aplicación cuantitativa de la RUSLE, bien de la digitalización del mapa de estados erosivos, han de ser introducidos dentro del CRITERIO 2, en el apartado titulado *Índice 2.1. Estados erosivos*. De forma automática, el rango de pérdida de suelo es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre, como sigue:

- Bueno: niveles de erosión mayores de 50 T/ha·año.
- Regular: niveles de erosión comprendidos entre 12 y 50 T/ha·año.
- Pobre: niveles de erosión entre 0 y 12 T/ha·año.

Indicador 3. Áreas con riesgo de desertificación

Marco teórico

La desertificación queda definida como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas (ONU, 1994).

Esta degradación de tierras supone la pérdida o reducción de la productividad biológica o económica ocasionada por sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, como pueden ser la erosión (MARM, 2008).

La desertificación es uno de los mayores problemas ambientales a escala global y fue uno de los primeros en ser reconocido en el ámbito internacional, siendo el primer problema ambiental sobre el que se convocó una Cumbre de Naciones Unidas: la Conferencia de Naciones Unidas contra la Desertificación (UNCOD) en 1977 (MITECO, 2022a).

La desertificación es consecuencia de una combinación de factores naturales y humanos. Particularmente, a nivel nacional, las condiciones que propician el avance de la desertificación son (ONU, 1994):

- Condiciones climáticas semiáridas que afectan a grandes zonas, sequías estacionales, extrema variabilidad de las lluvias y lluvias súbitas de gran intensidad.
- Suelos pobres con marcada tendencia a la erosión, propensos a la formación de cortezas superficiales.
- Un relieve desigual, con laderas escarpadas y paisajes muy diversificados.
- Grandes pérdidas de la cubierta forestal a causa de repetidos incendios de bosques.
- Condiciones de crisis en la agricultura tradicional, con el consiguiente abandono de tierras y deterioro del suelo y de las estructuras de conservación del agua.
- Explotación insostenible de los recursos hídricos, que es causa de graves daños ambientales, incluidos la contaminación química, la salinización y el agotamiento de los acuíferos.
- Concentración de la actividad económica en las zonas costeras como resultado del crecimiento urbano, las actividades industriales, el turismo y la agricultura de regadío.

Para poder atenuar los efectos y realizar una lucha efectiva contra la desertificación, resulta indispensable una delimitación de las áreas con riesgo de desertificación. Esta delimitación constituye el primer paso para poder planear y ejecutar medidas de lucha contra la desertificación, lo que justifica la utilización de este indicador como elemento para evaluar la interacción abiótica y biótica de los proyectos de absorción forestal. Así, el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) lleva a cabo el mapa de riesgo de desertificación empleando indicadores de tipo físico y biológico: índice de aridez, erosión, porcentaje de superficie acumulada recorrida por el fuego durante 10 años y sobreexplotación de acuíferos (MARM, 2008).

Desarrollo

Para el presente indicador, se propone la digitalización del Mapa de riesgo de desertificación elaborado por el PAND. En este mapa y en su información adjunta se definen cuatro niveles de riesgo de desertificación: bajo, medio, alto y muy alto.

Se ha desarrollado un visor cartográfico en línea que permite la visualización de esta cartografía, así como la obtención de los valores en cada punto. Esta información se

encuentra disponible en Indicadores ECO2FOR (<https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755>) que incluye varias capas referentes a este documento.

Aplicación

La digitalización del Mapa de riesgo de erosión, al igual que el original, ofrecerá cuatro niveles de riesgo de erosión: bajo, medio, alto y muy alto. Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: los proyectos desarrollados en áreas con riesgo de desertificación más alto tendrán mejores puntuaciones. Gracias a proyectos con finalidad de forestación y reforestación tras incendio se consigue obtener una masa arbolada en el territorio. Esto destaca especialmente en zonas con un alto riesgo de desertificación ya que permite incrementar la protección del mismo actuando como una medida de prevención contra la misma, así como mediante el fijado de suelos.

Los valores de riesgo de desertificación para este indicador son inherentes de la ubicación del proyecto y se obtienen a partir de la cartografía en línea propuesta. El órgano evaluador tendrá que ser conocedor de la ubicación exacta del área de implantación del proyecto y saber ubicarlo en el mapa en línea. Empleando la digitalización web del Mapa de riesgo de desertificación, el órgano evaluador obtendrá el nivel de riesgo de desertificación en función de los colores establecidos en la leyenda (excluyendo láminas de agua, urbano y húmedo o subhúmedo), el cual deberá introducir dentro del CRITERIO 2, en el apartado titulado *Índice 3.1. Áreas con riesgo de desertificación* de la aplicación/calculadora. De forma automática, el rango de nivel de riesgo de desertificación es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre, como sigue:

- Bueno: nivel de desertificación medio y alto.
- Regular: nivel de desertificación bajo.
- Pobre: nivel de desertificación muy alto.

Los valores con un resultado de láminas de agua, urbano o húmedo o subhúmedo no aplican ya que no se clasifican en el índice de riesgo de desertificación.

BLOQUE II: DESCRIPCIÓN DEL MEDIO BIÓTICO

Criterio 3. Diversidad de Especies

La diversidad de especies es empleada para la evaluación de los cambios de las comunidades. Es una medida que aparece asociada al funcionamiento de los ecosistemas y puede convertirse en un indicador, por su modificación, de la implicación de las actividades humanas y de la vulnerabilidad de las especies al cambio climático (Maclaurin y Sterelny, 2008). Además, muchas de las decisiones para justificar acciones de protección son tomadas en función de los cambios en la magnitud de la biodiversidad (García-Morales et al., 2011).

Indicador 4. Composición de especies arbóreas

Marco teórico

El Reglamento Europeo de Restauración de la Naturaleza 2024/1991, en su ANEXO VI Lista de indicadores de biodiversidad para los ecosistemas forestales contemplados en el artículo 12, apartados 2 y 3 hace referencia al empleo del indicador diversidad de especies arbóreas, aunque por su tratamiento, se trata de una definición más próxima a la composición de especies. La metodología seguida para la definición de este indicador por parte del Reglamento es la contemplada en Forest Europe (2020). Este indicador es empleado como elemento definitorio para el Mantenimiento, conservación y mejora adecuada de la diversidad biológica en los ecosistemas forestales.

La composición y diversidad de especies arbóreas en los sistemas forestales se ve condicionada por factores naturales (clima, condiciones edáficas e hidrológicas del sitio, etapa de desarrollo de la masa forestal) y por la propia gestión histórica y actual. En los procedimientos políticos internacionales de las últimas décadas se han definido prácticas y directrices que ayudan a mejorar la biodiversidad en las masas forestales gestionadas. La baja diversidad específica que generalmente suelen presentar las masas forestales gestionadas hace que el efecto de perturbaciones (incendios, cambio climático, etc.) suponga una fragmentación de las comunidades, poniendo en peligro la capacidad de cambio adaptativo y el mantenimiento a escala local de estas especies (de Heredia y Gil, 2006). La transición hacia prácticas de gestión forestal enfocadas en generar masas forestales más diversas, la regeneración natural, pero también la expansión espontánea del bosque sobre tierras agrícolas abandonadas, son impulsores clave de la tendencia a alejarse lentamente de los bosques de una sola especie. Así, estos sistemas forestales serán más ricos en biodiversidad, más resilientes y funcionalmente diversos que los de una sola especie de árbol, siendo más capaces en la prestación de funciones y servicios forestales (del Río, 2018; Forest Europe, 2020).

Para el año 2015, la composición de especies de los bosques europeos es la siguiente (Figura 1):

- Un tercio de los bosques son monoespecíficos.
- La mitad de las masas forestales contienen de dos a tres especies.
- El 13,1 % tiene de cuatro a cinco especies de árboles.
- El 4,6 % de los sistemas forestales está compuesto por seis o más especies.

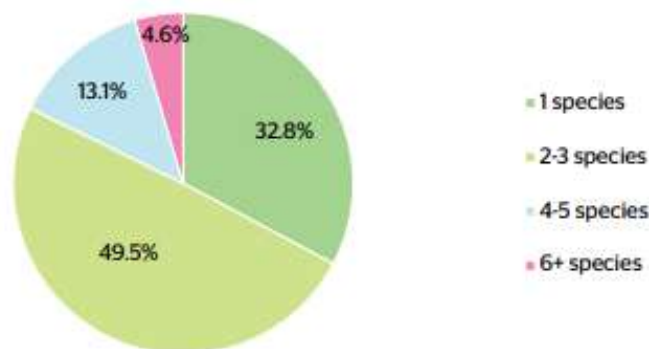


Figura 1. Superficie forestal en Europa clasificada según el número de especies de árboles presentes para el año 2015. Fuente: Forest Europe, 2020.

Enfatizando en las masas forestales del suroeste de Europa (en donde se encuentra ubicado España), estas son las más diversas en cuanto a composición de especies arbóreas, contando también con el mayor porcentaje de superficie en donde los rodales superan las 6 especies o más (19,9 % de la superficie total). En esta región, menos del 25 % de los sistemas forestales tienen una composición de especies monoespecífica.

Desarrollo

Siguiendo las afirmaciones detalladas por Forest Europe (2020), para valorar el presente indicador se proponen un enunciado con el objetivo de conocer cuál será la composición de especies arbóreas tras la implantación de los proyectos de forestación o de reforestación tras incendio (Tabla 1).

Tabla 1. Enunciados empleados para la valoración del Indicador 4. Composición de especies arbóreas.

Primera pregunta	¿Cuál es la composición de especies objetivo del proyecto? Masa monoespecífica/Masa mixta con 3 especies o menos/Masa mixta con más de 3 especies.
------------------	--

Aplicación

Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* puesto que será evaluado sobre la memoria técnica del proyecto. Las puntuaciones para este índice varían en función del tipo de composición de la masa a instaurar siguiendo el siguiente criterio: los proyectos que favorezcan la implantación de una mayor diversidad de especies arbóreas tendrán mejores puntuaciones. Cuanto mayor es la composición de especies, los bosques adquieren una mayor resistencia a las perturbaciones originadas por sequías o tormentas y son más susceptibles de recuperarse rápidamente tras un episodio catastrófico que los bosques monoespecíficos (García-Güemes y Calama, 2015).

Dentro del CRITERIO 3 de la aplicación/calculadora, se desarrolló el *Indicador 4.1. Composición de especies arbóreas*. El órgano gestor encargado de evaluar el proyecto encontrará la pregunta desarrollada en la Tabla 1 con un desplegable de respuesta en el que aparece una respuesta multicotómica en función de los rangos de especies implantadas. Una vez seleccionada la opción de respuesta, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador, como sigue:

- Bueno: masa mixta con más de 3 especies.
- Regular: masa mixta con 3 especies o menos.
- Pobre: masa monoespecífica.

Indicador 5. Índices de diversidad

Marco teórico

Dentro del presente indicador y para darle un valor añadido a la composición de especies del indicador anterior, se ha creído necesario la incorporación de índices de diversidad. Los índices de diversidad son expresiones matemáticas que emplean tres elementos de la estructura de las comunidades (Magurran, 1998):

- Riqueza de especies: número de especies presentes en una misma comunidad.
- Equitatividad, uniformidad en la distribución de individuos entre las especies.
- Abundancia: número de individuos de cada especie presente en una misma comunidad.

Los índices seleccionados para recoger la diversidad de especies arbóreas son:

- a) Índice de Shannon: refleja la heterogeneidad de una comunidad en función del número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon, 1948).

$$H = - \sum (P_i \cdot (\log_2 P_i)) \quad (\text{Ec. 1}),$$

donde P_i es la proporción de individuos de cada especie respecto al total, definido como:

$$n_i / N \quad (\text{Ec. 2}),$$

donde n_i es el número de individuos de la especie y N es el número de individuos de todas las especies.

- b) Índice de Margalef: este índice transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual son añadidas las especies por expansión de la muestra (Margalef, 1958). Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 1998).

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad (\text{Ec. 3}),$$

donde S es el número de especies y N es el número total de individuos.

Desarrollo

Los índices de diversidad no quedarán reducidos a las especies arbóreas, sino al conjunto total de especies contempladas en el proyecto, ofreciendo un valor añadido al indicador anterior. Para una mayor facilidad de aplicación de los índices, el desarrollo de las ecuaciones y la obtención del valor de los mismos quedarán especificados en la aplicación/calculadora, de forma que el órgano evaluador únicamente deba introducir el número de individuos de la especie, el número total de individuos de la población o el número de especies.

Para las puntuaciones de este indicador se propone la evaluación de la tasa de cambio. Se procederá a evaluar el valor de los índices de diversidad en dos situaciones diferenciadas:

- Antes de la implantación del proyecto con respecto a los valores de los índices de diversidad esperados con el desarrollo del proyecto.
- Antes de la implantación del proyecto con respecto a los valores de los índices de diversidad conseguidos con la implantación del proyecto.

$$\text{Tasa de cambio} = \left(\frac{B-A}{A} \right) \cdot 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

donde B es el valor del índice de diversidad de Shannon o Margalef previsto o conseguido tras la implantación del proyecto y A es el valor del índice de diversidad de Shannon o Margalef en la situación anterior al desarrollo del proyecto.

Aplicación

El indicador de índices de diversidad en el presente documento queda definido por la evaluación de la tasa de cambio de los valores del índice de Shannon y el índice de Margalef. Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y *ex post*:

- *Ex ante*: obtención de los datos de los índices de diversidad esperados a partir de la memoria del proyecto. La aplicación de la tasa de cambio es con los valores del índice de diversidad de Shannon o Margalef previsto tras la implantación del proyecto y el valor del índice de diversidad de Shannon o Margalef en la situación anterior al desarrollo del proyecto a partir de memoria o muestreo.
- *Ex post*: obtención de los datos de los índices de diversidad a partir de muestreo tras la aplicación del proyecto. La aplicación de la tasa de cambio es con los valores del índice de diversidad de Shannon o Margalef real tras la implantación del proyecto y el valor del índice de diversidad de Shannon o Margalef en la situación anterior al desarrollo del proyecto a partir de memoria o muestreo. Para este caso particular, el inventario o muestreo tiene que ser aplicado en el momento en el que se considere que las especies vegetales hayan alcanzado su madurez y las poblaciones sean estables. Este tiempo tendrá que ser definido y será responsabilidad del órgano gestor.

Dentro de la aplicación/calculadora aparece una pestaña titulada *Índices Biodiversidad* dedicada al cálculo del índice de Shannon y el índice de Margalef. El órgano evaluador, introducirá el número de especies en el momento *ex ante* y en el momento *ex post* en la pestaña referido a Índices de Diversidad de la aplicación/calculadora. Una vez introducido el número de especies, de forma automática, dentro CRITERIO 3 en el apartado correspondiente al *Indicador 5. Índices de diversidad* de la aplicación/calculadora, se ofrece el valor de la tasa de cambio para los dos índices. El valor de evolución de los índices es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre, como sigue:

- Bueno: las tasas de cambio observadas para ambos índices son positivas.
- Regular: una tasa de cambio se observa positiva y la otra negativa.
- Pobre: las tasas de cambio observados para ambos índices son negativas.

Indicador 6. Especies arbustivas de interés

Marco teórico

Las formaciones de matorral cubren amplias extensiones del territorio nacional, bien en forma de comunidades permanentes o bien como etapas de sucesión de bosques. Ocupan más de 11 millones de hectáreas, lo que representa una quinta parte de la superficie de España y desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y en la oferta de servicios ecosistémicos (abastecimiento, regulación y culturales) (San Miguel, 2020).

Los matorrales son formaciones dominadas por matas o arbustos, es decir, especies leñosas que no tienen un tallo definido, apareciendo ramificadas desde la base. Constituyen un eslabón intermedio entre los bosques (formaciones más evolucionadas y de mayor biomasa) y las herbáceas (menor biomasa, pero más dinámicas y de carácter colonizador). Con una relación biomasa aérea/biomasa subterránea más equilibrada que los bosques, los matorrales son formaciones más resilientes ante condiciones ambientales. Por este carácter resiliente, los matorrales son capaces de sustituir a las formaciones forestales cuando estas desaparecen ante perturbaciones (San Miguel, 2009; 2020; 2023).

Los matorrales se pueden clasificar según su posición en la sucesión ecológica, es decir, según su situación en las series de vegetación (San Miguel, 2023):

- **Permanentes:** constituyen la vegetación potencial en las zonas donde el desarrollo de los bosques se imposibilita por situaciones climáticas (frío o sequía) o por las condiciones de suelo.
- **Serie de alto nivel evolutivo:** nivel de evolución parejo a los bosques con una amplia diversidad estructural y florística.
- **Serie de bajo nivel evolutivo:** de carácter colonizador, constituyen etapas iniciales en la cobertura de terrenos desnudos o fuertemente perturbados. Constituyen etapas seriales sustitutivas de bosques.

En los matorrales de alto nivel evolutivo, las etapas de sucesión se encuentran avanzadas, presentando un nivel de organización elevado con una estructura y composición florística diversa, pudiendo evolucionar en ausencia de perturbaciones fuertes hacia masas forestales. Algunas características comunes de los matorrales de alto nivel evolutivo son (San Miguel, 2020):

- Suelen estar asentados sobre suelos relativamente profundos y evolucionados.
- Sus hojas y tallos raramente cuentan con altas concentraciones de metabolitos secundarios. De esta forma, su biomasa es fácilmente humificable y contribuye a generar fertilidad en el suelo. En segundo lugar, en ausencia de altas concentraciones de metabolitos secundarios, su ramón es succulento ante los fitófagos (buenos pastos leñosos).
- Es frecuente que cuenten con una buena capacidad de rebrote, tanto de cepa como de raíz.
- Suelen desarrollar una importante labor de facilitación ecológica para otras especies de flora y fauna.
- El favorecimiento de su conservación o mejora para poder conseguir una evolución hacia bosque no es incompatible con el aprovechamiento de sus servicios. Sus principales productos suelen ser la ganadería extensiva, incluida la apicultura, siendo un importante productor de biomasa.
- Su restauración activa no suele ser necesaria.

Los matorrales seriales de bajo nivel evolutivo son las últimas etapas de sustitución de los bosques o las primeras de carácter leñoso en la sucesión ecológica. Son formaciones heliófilas, especialistas en colonizar con rapidez terrenos que quedan desnudos tras una perturbación. Algunas características son (San Miguel, 2009):

- Baja diversidad estructural y florística.
- Desarrolladas sobre suelo superficiales y poco desarrollados.
- Se regeneran habitualmente por semilla y lo hacen con dificultad bajo su propio dosel. Especialistas de la R y poco competentes.
- Semillas con dormancia capaz de mantener durante mucho tiempo su potencial germinativo. Muy difícil agotar su banco de semillas del suelo. Esta dormancia se suele vencer por temperatura o por el aumento en los niveles de nitrógeno.
- Su estrategia de autoperpetuación incluye la guerra química contra sus competidores y predadores. Generan metabolitos secundarios que dificultan la germinación de otras plantas bajo su dosel.
- Calidad bromatológica relativamente mala.
- Pueden ejercer funciones de facilitación ante el efecto protector a la herbivoría. Por ejemplo, una encina en el interior de un jaral.

Desarrollo

Dado el objetivo de los proyectos sobre los que se aplica esta guía que tienen como objetivo final el desarrollo de una masa forestal, en el presente indicador se trabajará con los matorrales de alto y bajo nivel evolutivo, dejando a un lado los matorrales de carácter permanente. La base de la puntuación de este indicador queda basada en la Tabla 2, en la que se definen las principales clases y sus respectivas especies de los matorrales de alto y bajo nivel evolutivo.

Tabla 2. Principales clases y especies para los matorrales de A) alto nivel evolutivo y B) bajo nivel evolutivo.
Fuente: Elaboración propia a partir de San Miguel (2020).

A) Series de un alto nivel evolutivo		
Clase	Especie o Género	Importancia
Carrascales	Carrascal y rebollo.	–
Espinares	Zarzas, rosas, espinos, majuelos, endrinos.	Suelen constituir la orla o cierra de los bosques y su primera etapa de sustitución. Frutos altamente nutritivos. Buena calidad de ramón. Su carácter espinoso ejerce función de facilitación.
Mancha	Madroño, brezo blanco, labiérnago, durillo, mirto, lentisco, cornicabra.	Suelos ácidos. Porte arbustivo alto. Albergan especies emblemáticas como el lince, el águila imperial y el buitre negro.
Garriga	Acebuches, algarrobo, lentisco y en zonas cálidas el palmito, coscoja.	Modalidad vicariante de la Mancha mediterránea desarrollada sobre suelos básicos. Aprovechamiento ganadero extensivo. Coscoja, gran poder de rebrote gracias al lignotuber.
Leguminosa retamoide	Género <i>Genista</i> , <i>Cistus</i> y <i>Retama</i> .	Existencia de tallos verdes fotosintéticos sin o con pocas hojas para reducir la transpiración. Capacidad para fijar nitrógeno atmosférico a partir de relaciones simbióticas con bacterias del suelo. Formaciones que dan sombra, pero no opacan, permitiendo el desarrollo de un estrato herbáceo inferior y que generan un desfronde rico en N que se convierte con rapidez en humus de muy buena calidad. Agricultura extensiva, incluida la apicultura.
B) Series de bajo nivel evolutivo		
Clase	Especies	Importancia
Brezales y tojales	Género <i>Erica</i> , <i>Ulex</i> . <i>Calluna vulgaris</i> <i>Genista tridentata</i> , <i>Vaccinium corymbosum</i>	Terrenos ácidos, pobres en fertilidad y relativamente húmedos. Rebrotan de forma vigorosa ante incendios o desbroces. Los arándanos que son fundamentales para el mantenimiento de una gran cantidad de especies, como el urogallo, la perdiz pardilla o el oso, solo aparece en brezales que son ramoneados o desbrozados con cierta intensidad.
Jarales y cantuesares	Género <i>Cistus</i> , <i>Lavandula</i> . Tomillo, romero.	Terrenos ácidos, pobres en fertilidad y secos en verano. Malacófilos. Pierden sus hojas en verano para evitar transpiración. Esas hojas caídas son difícilmente humificables y perjudican el desarrollo de otras especies bajo su dosel. Aunque su ramón es poco apetecido, llega a ser consumido en épocas de carencia o de escasez de hierba verde y sirve de refugio a especies de fauna silvestre. Sus flores son un excelente pasto melífero y es frecuente su asociación con hongos <i>hectomicorricicos</i> comestibles como los boletus.
Rosmarinetea	Romero, salviares, cojines de monja.	–

Aplicación

El indicador de especies arbustivas de interés en el presente documento se definirá a partir de la Tabla 2. Este indicador ofrecerá una puntuación final *ex post* a partir de mediciones realizadas antes de la implantación del proyecto y en el momento en el que se considere que las especies vegetales implantadas por el proyecto hayan alcanzado su madurez (20, 30, 40 o más años).

La metodología para obtener la puntuación final es la siguiente:

- 1) Medición *ex ante*: el órgano evaluador, previamente a la implantación del proyecto, deberá definir a partir de la memoria o por muestreo *in situ* el tipo de matorral desarrollado en la zona de aplicación mediante el empleo de la Tabla 2. Identificando las especies o los géneros aquí contemplados, se podrá definir la clase o clases existentes, pudiendo así concretar una serie de bajo o alto nivel evolutivo. Puede darse el caso en el que en la zona objeto de estudio no se desarrolle ninguna masa de porte arbustivo. O que existan ambas, en este caso se tomará en cuenta aquella con mayor cobertura superficial.
- 2) Medición *ex post*: mismo procedimiento que en la medición *ex ante*, pero en un momento diferente.

Tras estas mediciones, el órgano evaluador podrá ser capaz de definir el tipo de serie evolutiva del matorral tanto en el momento *ex ante* como en el momento *ex post*. Para ambas situaciones, se pueden inventariar especies o géneros de diferentes clases, es decir, el objetivo del muestreo es definir una serie de bajo o alto nivel evolutivo para los dos momentos, no sus clases. Es necesario recalcar que puede darse el caso de que no haya matorral inventariable.

Una vez obtenido el tipo de serie para los dos momentos, la puntuación de este indicador será ofrecido a partir un análisis de la evolución de la masa del matorral bajo el siguiente criterio: la evolución hacia series de alto nivel evolutivo ofrecerá mejores puntuaciones dado que representan etapas de sucesión avanzadas presentando un nivel de organización elevado con una estructura y composición florística diversa, pudiendo evolucionar en ausencia de perturbaciones fuertes y de forma natural hacia masas forestales.

Tras la obtención del tipo de serie para los dos momentos, el órgano gestor se ha de dirigir a la aplicación/calculadora en el CRITERIO 3, apartado titulado *Indicador 6.1. Especies arbustivas de interés*. En esta sección, se ha de seleccionar el delegable con la opción correspondiente. De forma automática, tras la sección de los desplegables, la aplicación ofrece un valor cualitativo en bueno, regular o pobre:

- Bueno: transición hacia un estado de evolución más desarrollado. Incluye las situaciones que transitan desde *sin matorral* a *bajo nivel evolutivo* o de *bajo nivel evolutivo* a *alto nivel evolutivo*.
- Regular: mantenimiento de un bajo nivel evolutivo.
- Pobre: regresión del nivel evolutivo del matorral o no desarrollo de matorral. Incluye las situaciones que transitan desde *bajo nivel evolutivo* a *sin matorral*, de *alto nivel evolutivo* a *bajo nivel evolutivo* o de mantenimiento del estado *sin matorral*.

Indicador 7. Diversidad de aves forestales comunes

Marco teórico

Ante un problema contrastado de pérdida continua de biodiversidad en las últimas décadas (Ceballos et al., 2015), la evaluación en los esfuerzos de su conservación y mejora son fundamentales para revertir estas tendencias negativas. Sin embargo, la recopilación de información a largo plazo y a grandes escalas sobre los rangos de distribución de especies, así como su abundancia, suele ser un desafío (Forest Europe, 2020).

En este contexto, el amplio interés en las aves en todo el mundo tiene el potencial de superar algunos de estos desafíos. Los observadores de aves aficionados suelen estar bien capacitados en su identificación y muchos de ellos están dispuestos a participar en proyectos de ciencia ciudadana (Greenwood, 2007; Gregory y Van Strien, 2010; Herrando et al., 2017). Además de este interés popular, las aves tienen una evidente importancia biológica a nivel de ecosistemas: se encuentran ampliamente distribuidas en todo tipo de hábitats, disfrutan de una variedad compleja de recursos naturales y son sensibles a los cambios en el medio derivados del tipo de gestión forestal. Por lo expuesto, el uso de este indicador de biodiversidad tiene un alto potencial, particularmente a escalas espaciales y temporales más grandes (Gregory et al., 2005).

A nivel nacional, las poblaciones de aves forestales con poblaciones en incremento son las más altas, casi el doble que a escala europea. La explicación recae en un cambio de uso del suelo. El abandono de la ganadería extensiva ocurrido en las últimas décadas en España ha propiciado una ampliación y desarrollo de las zonas arbustivas y arboladas mientras que ese cambio de gestión no es tan acusado en el resto del continente (SEO/Birdlife, 2023).

Desarrollo

El Reglamento Europeo de Restauración de la Naturaleza 2024/1991, en su ANEXO VI Lista de indicadores de biodiversidad para los ecosistemas forestales contemplados en el artículo 12, apartados 2 y 3 hace referencia al empleo del indicador aves forestales comunes.

Siguiendo lo pautado en el Reglamento en el que se indica el uso de este indicador, en el presente documento se hará uso de la presencia o ausencia las aves forestales evaluables en el programa de seguimiento de aves comunes a cada escala definidas por SEO/Birdlife (SEO/Birdlife, 2023) con la adición de algunas especies para hacer el listado más completo (Tabla 3). Estas especies añadidas se encuentran todas asociadas a sistemas boscosos (SEO/Birdlife, 2022a) y se incluyen para hacer más completa la lista de aves comunes.

Para una estandarización en las decisiones de muestreo o censo, en el presente documento se propone el seguimiento del programa SACRE. El programa SACRE facilita el conocimiento del estado de conservación de las aves más habituales del entorno español. Se realiza mediante censos anuales en tan solo dos días cada primavera, en dos posibles modalidades diferentes: por estaciones o en recorridos (SEO/Birdlife, 2022b).

Tabla 3. Especies forestales evaluables en el programa de seguimiento de poblaciones de aves comunes a distintas escalas con algunas adiciones. Fuente: SEO/Birdlife, 2023.

SEO/Birdlife, 2023		
Ave forestal	Presencia	Ausencia
Agateador europeo (<i>Certhia brachydactyla</i>)		
Alondra totovía (<i>Lullula arborea</i>)		
Arrendajo euroasiático (<i>Garrulus glnadarius</i>)		
Bisbita arbóreo (<i>Anthus trivialis</i>)		
Camachuelo común (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>)		
Carbonero común (<i>Parus major</i>)		
Carbonero garrapinos (<i>Periparus ater</i>)		
Chochín paleártico (<i>Troglodytes troglodytes</i>)		
Cuco común (<i>Cuculus canorus</i>)		
Curruca cabecinegra (<i>Sylvia melanocephala</i>)		
Curruca capitodara (<i>Sylvia atricapilla</i>)		
Curruca mirlona occidental (<i>Sylvia hortensis</i>)		
Curruca mosquitera (<i>Sylvia borin</i>)		
Herrerillo capuchino (<i>Lophophanes cristatus</i>)		
Herrerillo común (<i>Cyanistes caeruleus</i>)		
Mirlo común (<i>Turdus merula</i>)		
Mito común (<i>Aegithalos caudatus</i>)		
Mosquitero papialbo (<i>Phylloscopus bonelli</i>)		
Oropéndola europea (<i>Oriolus oriolus</i>)		
Paloma torcaz (<i>Columba palambus</i>)		
Papamoscas europeo (<i>Ficedula hypoleuca</i>)		
Papamoscas gris (<i>Muscicapa striata</i>)		
Pico picapinos (<i>Dendrocopus major</i>)		
Pinzón vulgar (<i>Fringilla coelebs</i>)		
Piquituerto común (<i>Loxia curvisorsta</i>)		
Rabilargo ibérico (<i>Cyanopica cooki</i>)		
Reyezuelo listado (<i>Regulus ignicapilla</i>)		
Reyezuelo sencillo (<i>Regulus regulus</i>)		
Ruiseñor común (<i>Luscinia megarhynchos</i>)		
Torcecuello euroasiático (<i>Jynx torquilla</i>)		
Trepador azul (<i>Sitta europaea</i>)		
Zorzal charlo (<i>Turdus viscivorus</i>)		
Zorzal común (<i>Turdus philomelos</i>)		
Adición – SEO/Birdlife, 2022a		
Ave forestal	Presencia	Ausencia
Abejero europeo (<i>Pernis apivorus</i>)		
Águila calzada (<i>Hieraaetus pennatus</i>)		
Autillo europeo (<i>Ptilopsis leucotis</i>)		
Azor (<i>Aquila fasciata</i>)		
Búho chico (<i>Asio otus</i>)		
Buitre negro (<i>Aegypius monachus</i>)		
Busardo ratonero (<i>Buteo buteo</i>)		
Cárbano común (<i>Strix aluco</i>)		
Chocha perdiz (becada) (<i>Scolopax rusticola</i>)		
Corneja negra (<i>Corvus corone</i>)		
Mochuelo boreal (<i>Aegolius funereus</i>)		
Mochuelo chico (<i>Glaucidium passerinum</i>)		
Mosquitero ibérico (<i>Phylloscopus ibericus</i>)		
Urogallo (<i>Tetrao urogallus</i>)		
Número total de especies:		

Aplicación

El indicador de aves forestales comunes en el presente documento quedará definido por la presencia o ausencia de individuos en el listado definido por SEO/Birdlife y adiciones

para su programa de seguimiento de poblaciones a distintas escalas (Tabla 3) aplicando la metodología SACRE.

Este indicador ofrecerá puntuaciones con una combinación *ex ante* y *ex post* a partir de la aplicación de la metodología SACRE. Para ello, se llevará a cabo una evaluación de la evolución poblacional de las aves utilizando la ecuación de la tasa de cambio:

$$Tasa\ de\ cambio = \left(\frac{B-A}{A} \right) \cdot 100 \quad (Ec. 1),$$

donde *B* es el número de especies contempladas en la Tabla 3 en el segundo muestreo *ex post* y *A* es el número de especies contempladas en la Tabla 3 en el muestreo *ex ante*.

Será responsabilidad del órgano gestor la realización de un correcto uso de la metodología SACRE. La modalidad de muestreo utilizada de entre las dos posibles deberá ajustarse a las particulares de los rodales objeto de estudio (la fenología de la reproducción en función de factores como climatología, latitud, altitud, etc.). Las fechas de los muestreos quedan ajustadas en función de la máxima actividad de reproductores tempranos (de abril a mayo) y la máxima actividad de reproductores tardíos (de mayo a junio). Toda la información con respecto a las instrucciones de muestreo y fichas, hábitats, especies y su código y la guía de aves está disponible en [SEO/Birdlife \(2022b\)](#). Aunque el programa SACRE quede referido a la anotación de cualquier especie vista durante los transectos o estaciones, para completar este indicador solo se podrán anotar las especies propuestas en las Tabla 3, siendo estas exclusivamente forestales.

Para poder obtener las puntuaciones para este indicador se necesitan dos inventarios en dos momentos diferenciados. El momento para la realización del primer muestreo, es decir, el momento *ex ante*, deberá realizarse antes de la implantación del proyecto o en caso de imposibilidad, en las primeras fases de acción del mismo. Este muestreo se realiza para ser conocedores de la diversidad de especies de aves antes de la implantación del proyecto a modo de punto de partida. El tiempo para la realización del segundo muestreo (*ex post*) deberá ser suficiente (20, 30, 40 o más años) para que las especies vegetales implantadas por el proyecto hayan alcanzado la madurez y se pueda considerar que se ha alcanzado la máxima población potencial de aves. De esta forma, se podrá definir si las poblaciones de aves forestales se encuentran en incremento, declive o estables.

El criterio de puntuación es el siguiente: la presencia en inventario de algunas de las especies contempladas en la lista de SEO/Birdlife con adiciones podrá contribuir al desarrollo del indicador denominado “Tendencia de las poblaciones de aves comunes” bajo el marco normativo de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, y sus posteriores modificaciones, en concreto en su Artículo 54, Garantía de conservación de especies autóctonas silvestres. Ayudar al desarrollo de este indicador ofrecerá puntuaciones positivas ya que mediante la evaluación de la tendencia en la abundancia de las poblaciones de aves queda estimado a nivel poblacional un incremento fuerte, moderado, estable, declive moderado, declive fuerte o sin cambio. Así, el seguimiento de las poblaciones de aves permite valorar el estado de los sistemas forestales y, por ende, del conjunto de la biodiversidad (IEPNB, 2022).

Una vez seleccionado el tipo de muestreo que más se ajusta a las particularidades del rodal, el resultado de aplicación del método SACRE será la obtención de un número determinado de especies presentes en la zona (de 0 a 47, según el listado ofrecido en el presente documento) para los dos momentos definidos. Las dos fechas de realización del inventario deben ser definidas por órgano gestor que aplique la guía. Se recuerda que el momento *ex ante* deberá de ser aplicado con la mayor brevedad posible y el *ex*

post una vez alcanzados los objetivos del proyecto. Tras la obtención del número de especies presentes, el órgano gestor deberá proceder a aplicar la ecuación de la tasa de cambio y su valor deberá ser introducido dentro de la aplicación/calculadora en el CRITERIO 3, apartado titulado *Indicador 7.1. Diversidad de aves forestales comunes*. El órgano evaluador tendrá que seleccionar una de las opciones desplegadas en función del conteo a partir de inventario y, de forma automática, la tasa de cambio es transformada a un valor cualitativo en bueno, regular o pobre:

- Bueno: incremento poblacional fuerte, tasa de cambio igual o superior al 100 %.
- Regular: incremento poblacional moderado, tasa de cambio inferior al 100 %.
- Pobre: declive poblacional, tasas de cambio negativas.

Criterio 4. Diversidad Estructural

La diversidad estructural es uno de los aspectos más relevantes en el ámbito forestal, ya que es fácilmente modificable a través de las intervenciones selvícolas. La estructura de una masa forestal está relacionada con el hábitat de muchos animales y plantas (MacArthur y MacArthur, 1961; Murdoch et al., 1972; Degraaf et al., 1998), pudiéndose utilizar en muchos casos como indicador de la biodiversidad.

Una forma de conservar la biodiversidad general del sistema consiste en un manejo adecuado de la estructura arbórea de la masa, y de este modo, del hábitat de las diversas especies. Por otra parte, la estructura de una masa forestal está directamente relacionada con su estabilidad frente a distintos factores bióticos y abióticos, así como con los beneficios directos (productos) e indirectos (fijación de carbono, paisaje, protección del suelo, etc.) (del Río et al., 2003).

No obstante, la estructura de una masa forestal está condicionada en gran medida por las características de las especies que vegetan en la zona, como su temperamento, crecimiento, tipo de copa, etc., así como por las características de la estación. A su vez, la estructura es el resultado de muchos procesos representando un estado momentáneo de la dinámica de la masa (Weber, 2000).

La estructura de la masa forestal es un indicador de la composición y del funcionamiento del ecosistema, por lo que su estudio nos proporciona información sobre los diferentes procesos que tienen lugar en cada etapa del ciclo de desarrollo de la masa forestal y sobre el hábitat de las diferentes especies (del Río et al., 2003).

Indicador 8. Estructura vertical de la vegetación

Marco teórico

La distribución vertical y horizontal de la vegetación de las masas forestales depende de las características ecofisiológicas de las especies implantadas (tasa de crecimiento, tolerancia a la sombra, suministro de nutrientes y agua), así como de las condiciones del sitio y de los tratamientos selvícolas aplicados. Los patrones de distribución de las especies condicionan los principales procesos de la dinámica de las masas forestales, modificando el suministro, la captura y la eficiencia del uso de los recursos y, por consiguiente, las interacciones intraespecíficas e interespecíficas (del Río et al. 2018).

Desarrollo

Este indicador se ha desarrollado a partir de la metodología propuesta por el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP). El IBP es una herramienta de apoyo a la planificación y la gestión forestal, pensada principalmente para facilitar la integración de criterios de conservación de la biodiversidad en la gestión multifuncional, que combina diversos objetivos, incluyendo la producción de bienes y/o la prevención de incendios. Relaciona la estructura del bosque con la diversidad de especies (taxonómica) desde un punto de vista global sin hábitats o especies particulares.

El IBP se compone de 10 factores, siendo uno de ellos el factor del rodal denominado "Estructura vertical de la vegetación". Este factor se basa en la cuantificación del número de estratos (entre 5 posibles), independientemente de la especie arbórea. El método de inventario a utilizar dependerá de los objetivos y contexto particulares de los rodales, descritos en Gonin y Larrieu (2023). Las fichas y los protocolos están disponibles de forma abierta en [GENCAT \(2023\)](#).

Los 5 estratos recogidos en el IBP para la región mediterránea y que se utilizarán para el presente indicador son:

- Estrato herbáceo y semileñoso.
- Leñoso diferenciado en 4 estratos según la altura del follaje: muy bajo (< 1,5 m), bajo (1,5 – 5 m), intermedio (5 – 15 m) y alto (> 15 m).

En esta metodología una misma especie leñosa puede estar presente en varios estratos según la altura del follaje y únicamente se pueden contabilizar los estratos que cubran al menos el 20 % de la superficie estudiada.

Aplicación

El indicador “Estructura vertical de la vegetación” será puntuado a partir de la metodología propuesta por el IBP. Para poder llevar a cabo la aplicación de esta metodología resulta indispensable realizar un adecuado inventario para hacer una ajustada cuantificación de los estratos. La elección de uno de los 4 tipos de muestreos posibles (Gonin y Larrieu, 2023) será responsabilidad del órgano gestor, debiendo este basarse en las particularidades del rodal. Otros de los requisitos requeridos es que únicamente se podrán contabilizar los estratos que representen como mínimo el 20 % de la superficie estudiada.

Este indicador ofrece puntuaciones *ex post* y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: la estructura de una masa forestal es una medición directa de la disponibilidad de hábitats para animales y plantas como indicador de heterogeneidad ambiental, propiciando a su vez una mayor estabilidad ante perturbaciones abióticas y bióticas, efecto asociado a una mayor capacidad de recuperación de los ecosistemas forestales (del Río et al. 2003). La heterogeneidad de estratos asegura un efecto desigual sobre el territorio forestal de las perturbaciones y una respuesta diferente de los distintos rodales (Tíscar et al. 2015). Así, los proyectos de absorción forestal que ofrezcan una mayor cantidad de estratos recibirán mayores puntuaciones.

Una vez aplicado el tipo de muestreo adecuado para el rodal, el resultado de la aplicación del método del IBP será la obtención del número de estratos, independientemente de la especie, de 1 a 5, de acuerdo con la clasificación propuesta. El momento de aplicación del inventario también será responsabilidad del órgano gestor que aplique la guía. El tiempo deberá ser suficiente (20, 30, 40 o más años) para que las especies implantadas por el proyecto hayan alcanzado la madurez y se considera que se ha alcanzado la estructura forestal objetivo. Tras la obtención de este valor, este se deberá introducir dentro de la aplicación/calculadora en el CRITERIO 4, apartado titulado *Indicador 8.1. Estructura vertical de la vegetación*, a partir de la selección de la opción desplegable. De forma automática, el rango de nivel es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre:

- Bueno: mayor o igual a 5 estratos.
- Regular: de 3 a 4 estratos.
- Pobre: 1 y 2 estratos.

Indicador 9. Medios acuáticos

Marco teórico

Los proyectos de gestión forestal deben considerar desde un inicio todas las variables en juego en los ecosistemas forestales (vegetación, suelo, agua, fauna, etc.). La gestión forestal mejorada ha de entenderse desde una perspectiva de mantenimiento de la biodiversidad. Es en este sentido que se encuentra el entendimiento de la importancia de los anfibios como componentes fundamentales de la gestión forestal y la biodiversidad (Montori et al., 2007).

Los anfibios son uno de los grupos de animales más amenazados del mundo. De las 6.000 especies descritas, casi un tercio se encuentran amenazadas y unas 168 especies podrían haberse extinguido en los últimos años, apuntando al papel antropogénico como principal foco causante. Una de las principales causas que están motivando el declive de los anfibios es el incremento de la radiación y el calentamiento global que provocan la desecación prematura de los medios acuáticos que usan para reproducirse (Bosch, 2005). Los anfibios son el grupo de vertebrados ideal para detectar variaciones en los ecosistemas terrestres y acuáticos, dado su ciclo larvario completamente acuático y la fase adulta más o menos independiente del agua (Montori et al., 2007).

Ante esta situación, la disponibilidad de hábitats y presencia de medios acuáticos es fundamental para el adecuado desarrollo de estas especies y puede convertirse en un indicador directo de la presencia de anfibios.

Desarrollo

Este indicador se ha desarrollado a partir de la metodología propuesta por el Índice de Biodiversidad Potencial (IBP). El IBP es una herramienta de apoyo a la planificación y la gestión forestal, pensada principalmente para facilitar la integración de criterios de conservación de la biodiversidad en la gestión multifuncional, que combina diversos objetivos, incluyendo la producción de bienes y/o la prevención de incendios. Relaciona la estructura del bosque con la diversidad de especies (taxonómica) desde un punto de vista global sin hábitats o especies particulares.

El IBP se compone de 10 factores, siendo uno de ellos el factor de contexto denominado “Medios acuáticos”. Este factor se basa en la cuantificación de los tipos de medios acuáticos ubicados dentro o en el borde del bosque objeto de estudio. El método de inventario a utilizar dependerá de los objetivos y contexto particulares de los rodales, descritos en Gonin y Larrieu (2023). Las fichas y los protocolos están disponibles de forma abierta en [GENCAT \(2023\)](#).

Los medios acuáticos recogidos en el IBP que se utilizarán en el presente indicador, independientemente de si son de origen natural o artificial y de si presentan carácter permanente o temporal, son: (1) fuente, (2) zanja húmeda no canalizada o pequeño canal (riachuelo, anchura < 1 m), (3) curso de agua pequeño (anchura de 1 a 8 m), (4) río, estuario o delta (anchura > 8 m), (5) brazo muerto de un río, (6) lago o masa de agua profunda, (7) estanque, laguna o masa de agua poco profunda, (8) balsa u otro punto de agua pequeño y (9) turbera o zona pantanosa.

Aplicación

El indicador “Medios acuáticos” será puntuado a partir de la metodología propuesta por el IBP. Para poder llevar a cabo la aplicación de esta metodología resulta indispensable realizar un adecuado inventario para hacer un adecuado conteo de las masas de agua. La elección de uno de los 4 tipos de muestreos posibles (Gonin y Larrieu, 2023) será

responsabilidad del órgano gestor, debiendo este basarse en las particularidades del rodal.

Este indicador ofrece puntuaciones *ex post*, no en sentido de las masas de aguas naturales, sino por la posibilidad de que dentro de las acciones del proyecto puedan estar incluidas la creación de medios acuáticos artificiales. Su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: cuanto mayor sea el número de medios acuáticos disponibles en el rodal, mayor disponibilidad de hábitats que puedan ser colonizados por las diferentes especies de anfibios presentes en la zona habrá.

Una vez aplicado el tipo de muestreo adecuado para el rodal, el resultado de la aplicación del método del IBP será la obtención del número de masas de agua, independientemente de su origen o temporalidad (9 como máximo). El momento de aplicación del inventario también será responsabilidad del órgano gestor que aplique la guía. El tiempo del inventario deberá ser suficiente para que las posibles actuaciones sobre la creación de masas de agua artificial se consideren finalizadas. Tras la obtención de este valor, este se deberá introducir dentro de la aplicación/calculadora en el CRITERIO 4, apartado titulado *Indicador 9.1. Medios acuáticos*, a partir de la selección de la opción desplegable. De forma automática, el rango es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre:

- Bueno: 2 o más tipos de medio acuático.
- Regular: 1 tipo de medio acuático.
- Pobre: ningún medio acuático.

Criterio 5. Diversidad Funcional

Las aproximaciones clásicas para entender los cambios en la diversidad que analizan la abundancia y la riqueza de especies para entender el funcionamiento de los ecosistemas parten del hecho de la equivalencia ecológica entre las especies, lo que implica que todas tienen la misma probabilidad de sobrevivir y reproducirse (Morin, 2011; Chave, 2004). Sin embargo, una especie es un conjunto de individuos con rasgos fenotípicos y de comportamiento que determinan cuándo y dónde sobreviven, y cómo interactúan con individuos de otras especies. Por ello, con el objetivo de incorporar características funcionales de cada una de las especies dentro de la dinámica de los ecosistemas surge el estudio de la diversidad funcional, definida como elemento clave para entender la relación entre la diversidad, la estructura de las comunidades y el funcionamiento de los ecosistemas (Naeem y Wright, 2003).

Indicador 10. Rasgos funcionales

Marco teórico

La diversidad funcional es una medida de la diversidad de rasgos funcionales presentes en una comunidad con respecto a su presencia y/o abundancia (Villéger et al., 2010). Los rasgos funcionales de plantas son características morfológicas, fisiológicas, estructurales o fenológicas que influyen en el rendimiento o *fitness* de un individuo a través de sus efectos sobre el crecimiento, la reproducción o la supervivencia (Garnier et al., 2015; Nock et al., 2016). Estos rasgos proporcionan útil información acerca de la eficacia biológica de los organismos, los mecanismos de ensamblaje de la comunidad y sus respuestas a cambios en el ambiente y la influencia de la comunidad sobre los procesos ecosistémicos (Ackerly y Cornwell, 2007; Nock et al., 2016).

Los tres factores que limitan a las plantas durante su ciclo de vida son la luz, el agua y los nutrientes (Lambers et al., 2008). Así, las plantas presentan un amplio abanico de respuestas y estrategias específicas en función de cada especie para mantener balance de carbono positivo, unos órganos funcionales, y un reciclaje de nutrientes eficiente, los rasgos funcionales (Lavorel y Garnier, 2002; Cornelissen et al., 2003). Otro factor importante a tener en cuenta a nivel nacional son los incendios forestales. En España arden de media cerca de 100.000 hectáreas de bosque y monte cada año en más de 12.000 incendios forestales (WWF, 2019).

La disponibilidad de agua es un factor clave limitante en los ecosistemas mediterráneos, especialmente durante el establecimiento de las plántulas en los primeros estadios, propiciado por la coincidencia de la sequía prolongada y el periodo más cálido durante el verano (Quero et al., 2008). El cierre de estomas para evitar la transpiración excesiva durante la disminución del potencial hídrico de la planta durante un periodo de sequía supone una reducción del intercambio gaseoso y, por tanto, una reducción en el crecimiento, pudiendo resultar finalmente en la muerte de la planta completa (Valladares y Sánchez-Gómez, 2006; Markesteijn, 2010). Existen dos estrategias frente a la sequía en función de la agrupación de ciertos rasgos funcionales (López-Iglesias et al., 2014; Villar et al., 2014) (Tabla 4):

- Estrategia conservadora: especies cuyos rasgos favorecen el uso conservativo de los recursos. Las especies conservadoras presentan tasa de crecimiento relativo bajo (RGR) (poco eficientes en la adquisición de recursos) debido a un valor bajo en el área específica foliar (SLA), lo que se traduce también en una baja tasa de asimilación neta (NAR) (baja eficiencia fotosintética). Generalmente, la poca

inversión en hojas queda compensada con mayor proporción en raíces y un sistema radicular más profundo. Sin embargo, un mejor predictor de la supervivencia a la sequía es la relación entre la profundidad de las raíces y el área foliar transpirada (RDLA), adquiriendo bajos valores.

- Estrategia adquisitiva: centradas en explotar los recursos disponibles para un rápido crecimiento en épocas favorables. Especies consumidoras de agua con un alto RGR y NAR debido a la producción de “hojas baratas” metabólicamente activas (SLA más elevados). Tienen raíces profundas pero un área transpirante más alta (y por lo tanto baja RDLA). Estas especies se encuentran limitadas a zonas relativamente más húmedas dado su peor adaptación a la sequía.

Tabla 4. Rasgos funcionales para la función disponibilidad de agua de las estrategias adquisitiva y conservadora. Fuente: adaptado de López-Iglesias et al. (2014) y Villar et al. (2014).

Rasgo funcional	Estrategia conservadora	Estrategia adquisitiva
Tasa de crecimiento relativo (RGR)	Baja	Alta
Área específica foliar (SLA)	Baja	Alta
Tasa de asimilación neta (NAR)	Baja	Alta
Profundidad de enraizamiento por área foliar (RDLA)	Baja	Alta

La luz es un factor ambiental heterogéneo que influye en el crecimiento y la supervivencia de las plantas, así como en las interacciones competitivas dentro de la comunidad. En el complejo de las masas forestales se producen gradientes de luz por lo que todas las plantas están expuestas a, al menos cierto grado de sombra durante su vida. Así, la tolerancia a la sombra es uno de los atributos clave necesarios para predecir de manera realista la dinámica forestal (Valladares y Niinemets, 2008).

En líneas generales, la capacidad de colonizar ambientes de sombra se ha vinculado con una mayor supervivencia en condiciones de poca luz, en lugar de un mayor crecimiento (Walters y Reichy, 1999). La tolerancia a la sombra está vinculada a patrones con estrategias conservadoras en la asimilación de carbono y en el uso de recursos. Las especies perennifolias presentan hojas longevas con una baja SLA, baja relación raíz/brote (desarrollo preferencial de raíces en contraposición de la biomasa aérea) y bajas tasas de respiración (disminución del punto de compensación lumínica). Para las especies caducifolias, la capacidad de colonización de ambientes con poca luz está relacionada con una menor inversión en la calidad de la hoja, evitando la pérdida de biomasa durante la caída de las mismas (Sánchez-Gómez et al., 2008).

Atendiendo a los rasgos funcionales que confieren mejoras adaptativas a las especies forestales tras un incendio, se pueden enumerar los siguientes (Keeley y Pausas, 2022):

- 1) La capacidad de rebrote es el principal medio de supervivencia después del fuego. En los climas mediterráneos, el desarrollo de órganos subterráneos denominados lignotúber confiere una ventaja adaptativa, contribuyendo al éxito de rebrote al ser depósitos de carbohidratos y, especialmente, yemas latentes. Además, estas estructuras son específicas de ecosistemas propensos a sufrir incendios, pudiendo ser empleadas como rasgo inherente a la respuesta al fuego.
- 2) Una corteza engrosada es otro de los rasgos asociados con la supervivencia post-incendio. Cortezas de mayor grosor favorecen la resistencia de las especies a los incendios al contribuir al aislamiento térmico.

Por otro lado, otra de las estrategias empleadas es la promoción del reclutamiento post-incendio, detallado, generalmente, para las especies no rebrotadoras o con

mecanismos de protección ante incendios (corteza). Entre estas estrategias se encuentran:

- 3) La latencia y dormancia de las semillas: la germinación de estas semillas requiere de un estímulo térmico a partir del cual se rompe la cutícula cerosa de la semilla.
- 4) Reclutamiento por serotinia: las semillas se encuentran encerradas en conos o frutos cerrados que se abren en masa y dispersan semillas a los pocos días del incendio.

Desarrollo

Tras descubrir la importancia de los rasgos funcionales como un indicador de biodiversidad, se plantea una metodología sencilla y accesible sin la necesidad de realizar estudios en laboratorio.

Como principales nichos funcionales se eligen aquellos que se expresan mediante el uso de la luz y el uso del agua, en este caso se descarta el uso de nutrientes ya que su cuantificación es más compleja, incluyendo las estrategias adaptativas al fuego. Así, se realizan una serie de preguntas para comprender la estrategia de las plantas, se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Enunciados empleados para la valoración del Indicador 10. Rasgos funcionales.

Uso del agua	Primera pregunta	En la ubicación del proyecto, ¿existen situaciones de déficit hídrico? <i>Sí/ No.</i>
	Segunda pregunta	¿En qué estrategia se clasifican los rasgos de las especies seleccionadas? <i>Estrategia conservadora/Estrategia adquisitiva.</i> *Leer las estrategias de adaptación al fuego en el Indicador 10 del Documento Guía*
Uso de luz	Tercera pregunta	¿Las especies a emplear en el proyecto presentan algún mecanismo de tolerancia a la sombra? <i>Sí/ No.</i>
Incendios	Cuarta pregunta	¿Cuántas estrategias de adaptación al fuego presentan las especies a implantar por el proyecto? <i>Menos de dos estrategias/Más de dos estrategias.</i> *Leer las estrategias de adaptación al fuego en el Indicador 10 del Documento Guía*

Aplicación

El indicador “Rasgos funcionales” ofrecerá puntuaciones de biodiversidad *ex ante* puesto que será evaluado sobre la memoria técnica del proyecto a partir del listado de especies a implantar. Su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: se valorará la adecuación de las estrategias de las especies seleccionadas con respecto a los mecanismos de captación de agua, luz e incendios.

Dentro del CRITERIO 5, apartado titulado *Indicador 10. Rasgos funcionales*, aparecen las preguntas desarrolladas en la Tabla 5, con despegables de respuesta en el que aparecen contempladas las opciones de respuesta. Será responsabilidad del órgano gestor responder de forma adecuada y justificada, habiendo llevado a cabo una lectura adecuada y comprensión de los rasgos contemplados en este indicador. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las preguntas, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador (Tabla 6).

Tabla 6. Puntuaciones Indicador 10.

Uso del agua	1 punto: situaciones existentes de déficit hídrico en combinación con rasgos funcionales clasificados en estrategias conservadoras / situaciones sin déficit hídrico en combinación con rasgos funcionales clasificados en estrategias adquisitivas.
	0 puntos: situaciones contrarias, déficit de agua y estrategia adquisitiva y no déficit de agua y estrategia conservadora.
Uso de luz	1 punto: respuesta afirmativa.
	0 puntos: respuesta negativa.
Incendios	1 punto: dos o más estrategias presentes.
	0 puntos: menos de dos estrategias.

Lo que otorgará un resultado de 0 a 3 puntos, en función de las respuestas seleccionadas, lo cual se transformará en valores cualitativos de bueno, regular o pobre, como sigue:

- Bueno: 3 puntos.
- Regular: 1 o 2 puntos.
- Pobre: 0 puntos.

Indicador 11. Modelos de distribución de especies

Marco teórico

Las consecuencias del cambio global hacen imprescindible comprender la sensibilidad de las especies forestales frente a nuevas condiciones ambientales, así como los posibles desplazamientos en sus rangos óptimos de distribución. La importancia de los bosques como sumideros de carbono, provisión y recreación, entre otros, subraya la necesidad de anticipar la distribución futura de las principales especies arbóreas, con el fin de favorecer una gestión sostenible. Con objeto de adaptar los proyectos de absorción a la situación de cambio futura resulta clave determinar qué especies serán más adecuadas y en qué zonas, mediante el uso de modelos de distribución de especies (MDE) (Austin y Van Niel, 2011).

Los MDE establecen una relación estadística entre las localizaciones conocidas de presencia de una especie y la información ambiental asociada, lo que permite extrapolar dicha relación para predecir la idoneidad del hábitat en lugares donde no existen datos. Mediante el modelado se generan mapas predictivos, es decir, representaciones espaciales de la idoneidad del hábitat o de la distribución potencial de la especie. Un modelo calibrado para las condiciones actuales puede emplearse para proyectar la distribución potencial de las especies en otros periodos temporales para anticipar los impactos de nuevas condiciones climáticas y ambientales. El resultado son mapas de idoneidad climática actual y futura para cada especie que representan el grado de adecuación del territorio y mapas de presencia/ausencia y de cambio (ganancia, pérdida o estabilidad), por lo que se pueden cuantificar los cambios potenciales de su distribución bajo escenarios climáticos futuros (IPCC, 2021).

Desarrollo

Con el objetivo de identificar qué especies forestales serán más adecuadas en los distintos escenarios de cambio climático futuros, el equipo de la UVa–CAMBIUM (UVa, 2018) dentro de la acción 5 del proyecto ECO2FOR (ECO2FOR, 2024) ha desarrollado a escala nacional modelos espaciales de idoneidad de las especies en los escenarios de Cambio Climático del IPCC.

La metodología empleada para el desarrollo de estos modelos expresada de forma sintética es la siguiente:

- 1) Recopilación y preparación de los datos de presencia y ausencia de la especie: presencias en el Inventario Forestal Nacional.
- 2) Obtención y preparación de los valores de las variables ambientales: climáticas, topográficas, edáficas y asociadas a la radiación solar incidente. Para simular las condiciones climáticas futuras se utilizaron los valores medios de 10 modelos climáticos de circulación general (CMIP6), para las proyecciones del Sexto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) para tres periodos temporales 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100 y tres trayectorias socioeconómicas compartidas (Shared Socioeconomic Pathways – SSP) (1, 3 y 5) para cinco modelos de circulación general (GCM). La información se obtuvo de la base de datos climáticos de CHELSA ([CHELSA, 2025](#)), disponibles con una resolución espacial de 1 km.
- 3) Calibración y validación de los modelos de idoneidad con las presencias/ausencias de la especie y los valores de las variables ambientales en esas localizaciones para el periodo de referencia. Se obtiene el mapa de idoneidad binario de presencia (1) y ausencia (0) usando el umbral de corte establecido por el modelo.

- 4) Proyección espacial del modelo de idoneidad bajo diferentes condiciones climáticas temporales (periodo de referencia y escenarios futuros). El mapa binario de idoneidad de la especie en el presente se compara con las predicciones de los escenarios futuros, convertidos también a binario para obtener mapas de cambio de distribución y cálculo de superficies a modo de ganancia, pérdida o estabilidad.

Los resultados generales de la aplicación de los modelos muestran las siguientes tendencias:

- Desplazamiento altitudinal y latitudinal de las zonas idóneas, con las especies moviéndose hacia el norte y hacia cotas más altas.
- Diferenciación entre grupos ecológicos: especies mediterráneas, submediterráneas y eurosiberianas.
- El grado de cambio aumenta con la intensidad del escenario climático y el horizonte temporal: impactos más severos bajo el SSP5–8,5 a final de siglo.
- Este comportamiento refuerza la necesidad de promover una gestión forestal adaptativa, incorporando criterios climáticos en la planificación y en los proyectos de absorción.

Para el desarrollo del presente indicador, se emplearán los modelos de idoneidad de especies elaborados por la UVa–CAMBIUM, en concreto se emplearán los mapas de cambio. Para una correcta adaptación y en consonancia con alguno de los indicadores ya desarrollados, se empleará únicamente la trayectoria SSP 1 y el periodo temporal 2071–2100. Este escenario se corresponde con un límite de calentamiento de 2,6 °C para el año 2100, siendo en el que se aplican medidas de mitigación del mismo y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPPC, 2021).

Las especies contempladas en el desarrollo de los modelos de idoneidad son: *Pinus sylvestris*, *Pinus radiata*, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Pinus nigra*, *Pinus halepensis*, *Quercus pirenaica*, *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Fagus sylvatica*, *Quercus suber*, *Quercus petraea*, *Quercus robur*, *Betula alba*, *Betula pendula*, *Fraxinus angustifolia*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus ornus*, *Larix decidua*, *Larix leptolepis*, *Juglans regia*, *Juglans nigra*, *Juniperus communis*, *Juniperus thurifera*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus sabina*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Populus x canadienses*, *Castanea sativa*, *Olea europea*, *Ceratonia siliqua*, *Prunus avium*, *Pseudotsuga*, *Sequoia sempervirens* y *Cryptomeria japonica*.

Aplicación

El indicador *Modelos de distribución de especies* será puntuado a partir del empleo de los modelos de idoneidad de especies (mapas de cambio) desarrollados por la UVa–CAMBIUM para una trayectoria SSP 1 y periodo 2071–2100. Este indicador ofrecerá puntuaciones *ex ante* a partir del listado de especies a implantar por el desarrollo del proyecto. Su valoración cualitativa procede según el siguiente criterio: a partir de las variables ambientales consideradas para el desarrollo de los modelos y la obtención del mapa de cambio en forma de ganancia, estabilidad o pérdida para cada especie y trayectoria y proyección temporal empleada, se puede conocer las especies que podrían estar adaptadas a ese escenario de cambio climático futuro y, por tanto, resilientes ante esas condiciones. Los proyectos que desarrollen especies con “ganancia” en los mapas de cambio para las condiciones ya comentadas, obtendrán mejores puntuaciones.

Cabe destacar que los mapas de cambio desarrollados por la UVa–CAMBIUM no se encuentran públicos al ser un entregable de un proyecto aún no finalizado. Sin embargo

y a modo de ejemplo de lo que será una futura publicación de visor web, en el visor ECO2FOR (<https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755>) a partir de la información y metodología facilitada por UVa-CAMBIUM, se desarrolla el modelo de cambio para el *Pinus sylvestris* para una trayectoria SSP 1 y periodo 2071–2100. Cuando todos los mapas de cambio se encuentren públicos, en el visor ECO2FOR se creará un enlace directo para el acceso a todo el trabajo desarrollado por la UVa-CAMBIUM en relación a todas las especies contempladas.

Dentro del CRITERIO 5, apartado titulado *Indicador 11.1. Modelos de distribución de especies* aparece una celda en la que se podrá abrir un desplegable con 4 opciones de respuesta a modo de Ganancia/Estabilidad/Pérdida/No presente. Será responsabilidad del órgano gestor responder de forma adecuada y justificada, habiendo hecho un uso eficaz y contrastado de los modelos de idoneidad que quedarán disponibles en visor. Estas puntuaciones serán inherentes de la ubicación del proyecto. El órgano evaluador tendrá que acudir al visor o mapa definitivo y buscar la ubicación exacta en la que el proyecto está o será implantado. En ese momento, se ofrecerá un valor de ganancia, estabilidad, pérdida o no presente que es el que deberá ser introducido en la aplicación/calculadora. Se vuelve a hacer mención que para la puntuación de este indicador deberá ser seleccionada una trayectoria SSP 1 y la proyección 2071–2100. El modelo desarrollado para *Pinus sylvestris* es a modo de ejemplo y sirve para ilustrar como es el trabajo desarrollado por la UVa-CAMBIUM. Solo podrá ser empleado para dar puntuaciones en el caso de que esta sea una especie empleada por el proyecto. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las especies, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador, como sigue:

- Bueno: todas o la mayor parte de las especies contempladas en el proyecto se clasifican como “ganancia” en los mapas de cambio para la ubicación del mismo.
- Regular: todas o la mayor parte de las especies contempladas en el proyecto se clasifican como “estables” en los mapas de cambio para la ubicación del mismo.
- Pobre: todas o la mayor parte de las especies contempladas en el proyecto se clasifican como “pérdida” en los mapas de cambio para la ubicación del mismo.

Criterio 6. Análisis Espacial

El análisis especial permite conocer, a través de documentación recogida por distintas fuentes, la situación de la ubicación del proyecto. Asimismo, es posible incluir datos de estudios de campo para aportar luz sobre este análisis.

El buen conocimiento del terreno resulta fundamental para el desarrollo del proyecto, su planteamiento y redacción, por lo que se presume su estudio previo.

Indicador 12. Evolución superficie forestal

Marco teórico

La extensión y los cambios de la superficie forestal y otras superficies arboladas son una información básica, pero clave, para evaluar la sostenibilidad de la gestión forestal. Este indicador proporciona una visión general del estado de los cambios de la superficie forestal.

Es vital recopilar y analizar información sobre la superficie forestal y su evolución ya que los bosques proporcionan servicios ecosistémicos de aprovisionamiento y regulación esenciales como aporte de suministros de productos, purificación del agua, biodiversidad, etc. (Forest Europe, 2020).

Según los datos de este foro, la expansión de la superficie en España es la mayor entre 1990 y 2020 con más de 150.000 ha/año. Lo que indica la importancia de este cambio a nivel europeo.

A partir de la comparación de usos del suelo del *Corine Land Cover* para los años 2000 y 2018, se estima un aumento general de la superficie forestal para toda Europa (Forest Europe, 2020):

- La proporción de la conversión de terrenos de uso no forestal a áreas forestales continuas o fragmentadas es superior (6,1 %) a la conversión de parches de bosque continuos o fragmentados a cubierta terrestre no forestal (5,7 %).
- La conversión de áreas forestales fragmentadas a bosques continuos fue más frecuente (0,9 %) que el proceso inverso (0,7 %).
- La superficie forestal se ha visto más fuertemente incrementada en zonas no forestadas, es decir, la proporción en la conversión de áreas de uso no forestal a parches fragmentados es mayor que la conversión de terrenos forestales fragmentados a masas continuas. Este cambio de uso en áreas con menor cobertura vegetal resulta en efectos positivos sobre la biodiversidad general y la abundancia de especies relacionadas con los bosques.

Desarrollo

De forma análoga a lo desarrollado en la metodología propuesta por Forest Europe (2020), en el presente documento se propone la realización de un análisis de la evolución de la superficie forestal a nivel nacional mediante el empleo del Mapa Forestal de España (MFE) entre los años 1998 y 2023, según se observa en la Tabla 7, en función de la Comunidad Autónoma (excepto Canarias). Para Andalucía y la Comunitat Valenciana se hizo uso de *Corine Land Cover* (CLC) (CLMS, 2025), entre el año 2000 y 2018. Ambas operaciones combinadas dieron como resultado el Mapa de evolución forestal (puede visualizarse en el [visor](#)). Así, es posible identificar en qué partes del territorio se ha

producido una forestación ya sea natural o por deriva humana y en cuáles se ha perdido, principalmente como desarrollo de zonas urbanas e industriales.

Tabla 7. Años de publicación del Mapa Forestal de España.

Comunidad Autónoma	MFE50 antiguo	MFE25 actualizado	Evolución observada (años)
Andalucía	2005–2006	–	–
Aragón	2004	2023	19
Principado de Asturias	1999	2012	13
Cataluña	2000–2001	2016	15–16
Cantabria	1999	2012	13
Castilla–La Mancha	2003–2004	2022	18–19
Comunitat Valenciana	2005	–	–
Castilla y León	2002–2003	2020–2021	17–19
País Vasco/Euskadi	2005	2011	6
Extremadura	2001–2002	2018	16–17
Galicia	1998	2011	13
Illes Balears	1998	2012	14
La Rioja	2001	2013	12
Comunidad de Madrid	2000	2013	13
Región de Murcia	1999	2012	13
Comunidad Foral de Navarra	2000	2011	11

En primer lugar, para toda España (salvo Andalucía, Canarias y Comunitat Valenciana), se plantea una reclasificación de las 8 clases de establecidas por el MFE en 3 categorías como siguen (Tabla 8):

Tabla 8. Reclasificación a partir del Mapa Forestal de España.

Categoría MFE50	Categoría MFE25	Nueva categoría
500 – Agua	500 – Agua	1 – Sin vegetación
110, 112 y 113 – Arbolado	110, 112 y 113 – Arbolado	2 – Bosque arbolado
130, 132 y 133 – Arbolado disperso	130, 132 y 133 – Arbolado disperso	3 – Forestal desarbolado
120, 122 y 123 – Arbolado ralo	120, 122 y 123 – Arbolado ralo	2 – Bosque arbolado
300 – Artificial	300 – Artificial	1 – Sin vegetación
200 – Cultivos	200 – Cultivos	1 – Sin vegetación
140 – Desarbolado	140 – Desarbolado	3 – Forestal desarbolado
–	150 – Humedales. Desarbolado	3 – Forestal desarbolado

Una vez realizada la reclasificación de las categorías de MFE, el siguiente objetivo es realizar una comparación entre el MFE50 correspondiente a principios de siglo y el MFE25 más reciente de manera que se estudiaran las diferencias quedando recogido de la siguiente manera (Tabla 9):

Tabla 9. Comparación entre las reclasificaciones obtenidas a partir del MFE50 y el MFE25.

Valor MFE50	Valor MFE25	Diferencia	Resultado
1	1	0	Sin cambio
1	3		
3	3		
3	1	–1	Disminución forestal
2	1		
2	3		
2	2	2	Bosque preexistente
1	2	1	Aumento forestal
3	2		

Para las Comunidades Autónomas de Andalucía y Comunitat Valenciana, se plantea una reclasificación de las 44 clases de usos del suelo del CLC en 4 categorías como siguen (Tabla 10):

Tabla 10. Reclasificación a partir del Corine Land Cover.

Categoría CLC	Reclasificación
1 – superficies artificiales	1 – Artificial
21 – tierras de labor	2 – No arbolado
221 – viñedos	
222 – frutales	3 – Arbolado
223 – olivares	2 – No arbolado
23 – praderas	
24 – zonas agrícolas heterogéneas	
31 – bosques	3 – Arbolado
32 – espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	2 – No arbolado
324 – matorral boscoso de transición	3 – Arbolado
33 – espacios abiertos con poca o sin vegetación	4 – Sin vegetación
4 – zonas húmedas	
5 – superficies de agua	

Una vez realizada la reclasificación de los usos del suelo, el siguiente objetivo es realizar una comparación entre CLC del año 2000 y del año 2018 de manera que se estudiaran las diferencias quedando recogido de la siguiente manera (Tabla 11):

Tabla 11. Comparación entre las reclasificaciones obtenidas a partir del CLC para el 2000 y 2018.

Valor CLC 2018	Valor CLC 2000	Diferencia	Resultado
1	1	0	Sin cambio
1	2		
1	3	-1	Disminución forestal
1	4	0	Sin cambio
2	1		
2	2		
2	3	1	Aumento forestal
2	4	0	Sin cambio
3	1	-1	Disminución forestal
3	2		
3	3	0	Sin cambio
3	4	-1	Disminución forestal
4	1	0	Sin cambio
4	2		
4	3	1	Aumento forestal
4	4	0	Sin cambio

A través de la realización de estos cálculos de manera espacial se obtiene como resultado el mapa de evolución forestal indicado.

Se ha desarrollado un visor cartográfico en línea que permite la visualización de esta cartografía, así como la obtención de los valores en cada punto. Esta información se encuentra disponible en Indicadores ECO2FOR (<https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755>) que incluye varias capas referentes a este documento. La resolución y detalle de este valor va asociado al tamaño de píxel, el cual para los dos visores es de 25 x 25 m.

Aplicación

El indicador de evolución de la superficie forestal quedará representado por el Mapa de evolución forestal propuesto en el presente documento y disponible de forma online (<https://experience.arcgis.com/experience/ca7c2f947dbc4933896f4bd5b8138755>). Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y su valoración cualitativa prosigue el siguiente criterio: las mejores puntuaciones serán ofrecidas a los proyectos que se desarrollen en las regiones de España en las que se ha producido un decaimiento de la

superficie forestal. Se entiende que la implantación de proyectos de forestación y reforestación tras incendio es una práctica que fomentará el grado de aglomeración espacial de la cubierta forestal.

El Mapa de evolución forestal ofrece valores para tres niveles: disminución forestal, aumento forestal y sin cambio, además, indica aquellas zonas arboladas en ambos casos. Las puntuaciones para este indicador son inherentes a la ubicación. El órgano evaluador tendrá que ser conocedor de la ubicación exacta del área de implantación del proyecto y saber ubicarlo en el mapa en línea.

Una vez ubicada el área del proyecto, el órgano evaluador obtendrá en valor de cambio en función de los colores establecidos en la leyenda. Este valor es el que tendrá que ser introducidos dentro del CRITERIO 6, en el apartado titulado *Indicador 12.1. Evolución Superficie Forestal* de la aplicación/calculadora. De forma automática, el rango de evolución de la superficie es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre:

- Bueno: disminución de superficie forestal en la ubicación del proyecto.
- Regular: sin cambio en la superficie forestal o bosque preexistente.
- Pobre: aumento de superficie forestal en la ubicación del proyecto.

Indicador 13. Fragmentación forestal

Marco teórico

El Reglamento Europeo de Restauración de la Naturaleza 2024/1991, en su ANEXO VI Lista de indicadores de biodiversidad para los ecosistemas forestales contemplados en el artículo 12, apartados 2 y 3 hace referencia al empleo del indicador conectividad forestal, concepto que puede ser analizado a partir de su análogo, la fragmentación forestal.

Una de las mayores amenazas que existen a nivel mundial para la conservación de la naturaleza y la biodiversidad es la pérdida y fragmentación de hábitats (Smith y Smith, 2007; Gibson et al., 2013; Convention on Biological Diversity, 2022). La fragmentación forestal, queda definida como la división de áreas forestales contiguas más grandes en parches de bosques más pequeños. La consecuencia de esta fragmentación suele estar ligada al desarrollo de otros usos diferentes al forestal, derivado de la actividad humana (transporte, urbanismo, servicios públicos, etc.). La fragmentación forestal puede provocar el aislamiento y la pérdida de especies y reservas genéticas, la degradación de la calidad del hábitat y la reducción de la capacidad del bosque para sostener los procesos naturales necesarios para mantener la salud del ecosistema, una fragmentación forestal en desarrollo conducirá, de forma genérica, a la reducción de la persistencia, la riqueza, la abundancia y la capacidad de dispersión para la mayor parte de especies (Haddad et al., 2015; Fahrig, 2018; Vogt et al., 2019).

La siguiente metodología seguida para la definición de este indicador es la contemplada por la FAO en Vogt et al. (2019). En ella se establece un sistema por el que evaluar la fragmentación de las áreas forestales siguiendo los requisitos estipulados por la FAO, para un momento concreto del territorio. También, en Forest Europe (2020) se hace referencia al empleo de la fragmentación de los bosques, concepto muy ligado a la conectividad forestal. Este indicador es empleado como elemento definitorio para el Mantenimiento, conservación y mejora adecuada de la diversidad biológica en los ecosistemas forestales.

El esquema de fragmentación de la FAO parte del supuesto de que la fragmentación es inversamente proporcional a la densidad de la superficie forestal (DAF). La gama completa de DAF se divide en las seis clases de fragmentación siguientes:

- Rara ($DAF < 10 \%$).
- Parcheada ($10 \% < DAF < 40 \%$).
- Transicional ($40 \% < DAF < 60 \%$).
- Dominante ($60 \% < DAF < 90 \%$).
- Interior ($90 \% < DAF < 100 \%$).
- Intacta ($DAF = 100 \%$).

Las seis clases así definidas captan grados significativos de fragmentación forestal para los estudios de gestión, hábitat y evaluación de la biodiversidad. Para obtenerlas se emplea una escala de observación fija (EOF) donde se evalúan los grupos de píxeles y su contenido mediante análisis de proximidad.

Por ello, se trata también de un análisis de fragmentación, pero en este caso no se evalúa la evolución del territorio, sino que se ejecuta un análisis sobre un estado actual del mismo, permitiendo obtener la densidad forestal. En este sentido, se emplean también los usos del suelo de *Corine Land Cover* en 2018 (CLMS, 2025), para que sean comparables ambos indicadores.

Desarrollo

A partir de Corine Land Cover (CLC) a nivel europeo se emplea un análisis de grupos de píxeles en ventanas de 9x9 que permite obtener el porcentaje de DAF en cada uno de ellos. Para ello, se emplea una herramienta de comparación entre vecinos.

El programa Copernicus ha desarrollado estas capas a nivel europeo en formato ráster y dispone de un visor mediante el cual puede observarse la DAF de cada punto del territorio en Europa (<https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?dataset=b2227bbb31e140bdabd2fcf86a5dc3d2>). Las características técnicas que se han empleado para la realización de estas categorías son las siguientes (Vogt et al., 2019):

- Sin datos: píxeles con valores de 0 o 200 (mar abierto).
- Bosques: píxeles con valores 111–116 (bosques cerrados) o donde la fracción de cobertura de bosque es, al menos, del 30 %.
- Aguas continentales: píxeles con valores de 80 (cuerpos de aguas permanentes).
- Zonas no forestales: píxeles que no cumplen los anteriores requisitos.

La capa a seleccionar se denomina “*Tree Cover Density 2023 (raster 10 m, 100 m), Europe, yearly*” y mediante la información de la misma, clicando en cada punto, puede conocerse el valor de cada píxel que devuelve un número de cobertura forestal del 1 al 100 %.

Aplicación

El indicador de conectividad forestal quedará representado por la DAF propuesta en el presente documento y disponible de forma online. Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y su valoración cualitativa es según el siguiente criterio: las mejores puntuaciones serán ofrecidas a los proyectos que se desarrollen en las regiones de España en las que existe una menor densidad del área forestal. Se entiende que la implantación de proyectos de forestación y reforestación tras incendio es una práctica que fomentará el grado de aglomeración espacial de la cubierta forestal, evitando así la fragmentación.

El Mapa de DAF ofrece una discretización de las seis clases establecidas por la FAO de manera que puedan agruparse en tres niveles: alta densidad forestal, media densidad forestal y baja densidad forestal. Las puntuaciones para este indicador son inherentes a la ubicación. El órgano evaluador tendrá que ser conocedor de la ubicación exacta del área de implantación del proyecto y saber ubicarlo en el mapa en línea. Una vez ubicada el área del proyecto, los valores ofrecidos por el visor deberán ser introducidos dentro del CRITERIO 6, en el apartado titulado *Indicador 13.1. Fragmentación forestal* de la aplicación/calculadora. De forma automática, el rango de nivel de densidad forestal es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre:

- Bueno: menos de 20 % de cobertura.
- Regular: de 20–60 % de cobertura.
- Pobre: más de 80 % de cobertura.

Indicador 14. Regeneración

Marco teórico

La regeneración natural queda definida como el restablecimiento de una masa forestal a partir de la aparición de nuevos pies procedentes de la siembra natural o del rebrote de árboles más jóvenes sin intervención de la acción directa o indirecta humana (Serrada, 2008).

A nivel conceptual, se pueden establecer diferentes categorías de regeneración natural (Serrada, 2003):

- 1) Colonización: regeneración natural a partir de la cual especies presentes o especies que no forman parte del vuelo de la masa inicial, incrementan su presencia tras una diseminación, germinación e instalación de nuevos brinzales.
- 2) Restauración: regeneración natural en espacios que han sufrido fuertes perturbaciones (incendios, vendavales, aludes o enfermedades).
- 3) Regeneración natural en sentido estricto: regeneración natural en montes tratados por cortas de regeneración. Es el proceso consecuente con un determinado modo de tratamiento de las masas forestales que es ejecutado, precisamente, con la intención de renovar el vuelo.

La regeneración artificial es aquella que se consigue a partir de la siembra o plantación artificial. Aplicando la regeneración artificial se puede mantener la misma o mismas especies principales, o bien proceder a sustituir la especie principal (Serrada, 2008).

La regeneración forestal, ya sea natural o artificial, debe distinguirse de la expansión forestal, definida como el aumento de la superficie forestal a expensas de tierras que, anteriormente, se utilizaban para otros fines. La expansión forestal natural se refiere al establecimiento de la masa mediante la sucesión natural, mientras que la forestación se lleva a cabo activamente mediante la plantación o la siembra deliberada, es decir, supone la introducción de una masa forestal donde no existe previamente (Forest Europe, 2020).

La regeneración natural ayuda a perpetuar el ecotipo supuestamente mejor adaptado a la estación, estableciéndose una selección genética positiva en el futuro de la masa. Derivado de lo anterior, los regenerados están mejor adaptados a las condiciones ecológicas y tendrán mayor resistencia a plagas, enfermedades y daños abióticos, ayudando a conseguir bosques más resilientes (Serrada, 2008).

A partir de los datos sobre el origen de masas forestales para el año 2015, queda estimado que, a nivel nacional, más del 80 % de los bosques españoles se han establecido por regeneración natural y expansión natural. La superficie forestal resultante ha sido establecida por regeneración a partir de plantación o siembra, no existiendo una categoría para el desarrollo de la masa a partir de rebrote (Forest Europe, 2020).

Desarrollo

Debido a la inexistencia de los datos requeridos a nivel espacial para este indicador relativo a la reproducción de las masas, se ha optado por la evaluación del mismo a través de una serie de preguntas cuyos enunciados son elaborados con el objetivo de conocer si existe regeneración, y en el caso de desarrollarse, hasta que fase natural de clase de edad se desarrolla (Tabla 12).

Tabla 12. Enunciados empleados para la valoración del Indicador 14. Regeneración.

Primera pregunta	Tras la aplicación del primer inventario, ¿se ha identificado en el área del proyecto pies de regeneración natural de especies no contempladas en el proyecto? <i>Sí/No.</i>
Segunda pregunta	De forma global, ¿en qué clase natural de edad se encuentra el regenerado? <i>Repoblado, /Monte bravo/Latizal/Fustal.</i>
Tercera pregunta	Tras la aplicación del segundo inventario y de forma general, ¿en qué clase natural de edad se encuentra el regenerado? <i>Repoblado /Monte bravo/Latizal/Fustal.</i>

Para poder responder a las preguntas anteriores, resulta necesario la realización de un adecuado inventario forestal para conocer el estado de la masa y su posible evolución. El objetivo de este muestreo será la identificación de regenerado natural no proveniente de las especies que se implantarán en el proyecto, es decir, se pretende conocer si existe asentamiento de especies por existencia de banco de semillas preexistente o por diseminación de las masas circundantes no pertenecientes al área del proyecto. El inventario deberá estar adecuadamente estratificado y su diseño ha de tener en cuenta la intensidad de muestreo, el replanteo de las parcelas y sus características. El adecuado diseño y aplicación del inventario a partir del cual se obtendrán los pies de regeneración será responsabilidad del órgano gestor.

En el caso de que se identifique regenerado, a partir de inventario se ha de definir las clases de edad naturales del mismo (Serrada, 2008):

- Repoblado: se prolonga desde el nacimiento de semilla o bote de una población hasta que las copas se tocan.
- Monte bravo: se trata de la primera juventud que se encuadra en cuanto las copas nuevas empiezan a tocarse.
- Latizal: se define como la masa arbórea a partir de 8 – 10 m de talla hasta llegar a fustal.
- Fustal: se trata del estado superior de desarrollo de los montes arbolados.

Aplicación

La puntuación de este indicador será ofrecida por la aplicación de los enunciados desarrollados en la Tabla 12. Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex post* a partir de datos de las mediciones realizadas en inventario forestal en dos momentos diferenciados.

La valoración cualitativa de este indicador prosigue el siguiente criterio: mejores puntuaciones a los proyectos que presenten regeneración, manteniendo su viabilidad. La regeneración favorece un ecotipo supuestamente mejor adaptado a la estación, estableciéndose una selección genética positiva en el futuro de la masa. Derivado de lo anterior, los regenerados están mejor adaptados a las condiciones ecológicas y tendrán mayor resistencia a plagas, enfermedades y daños abióticos, ayudando a conseguir bosques más resilientes (Serrada, 2008). A su vez, con la evolución de las clases naturales de edad se podrá conocer si el regenerado desarrollado mantiene su viabilidad.

Dentro del CRITERIO 6, apartado titulado *Indicador 14. Regeneración*, aparecen las preguntas desarrolladas en la Tabla 12, con despegables de respuesta en el que aparecen contempladas las opciones de respuesta Sí y No o respuesta multicotómica con las clases de edad. Será responsabilidad del órgano gestor responder de forma adecuada y justificada, habiendo llevado a cabo un adecuado inventario forestal en los dos momentos aquí definidos. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las preguntas, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de:

- Bueno: existe regeneración en el área de implantación del proyecto y hay un incremento de forma general en la clase de edad natural entre los dos momentos inventariados.
- Regular: existe regeneración en el área de implantación del proyecto, pero hay un receso de forma general en la clase de edad natural entre los dos momentos inventariados.
- Pobre: no hay regeneración.

Indicador 15. Carbono orgánico del suelo (COS)

Marco teórico

Como consecuencia del cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad, el suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo. El suelo representa la mayor reserva de carbono del planeta, superando a la atmósfera y a la vegetación terrestre en conjunto (Lal, 2008; FAO, 2017).

El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono y es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS). La MOS es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes de las plantas, y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua, lo que la convierte en un indicador clave no solo para la productividad del suelo sino también para la resiliencia ambiental. Al ser el COS el constituyente principal de la MOS, este es empleado como indicador de la salud del suelo. Particularmente el COS se encuentra asociado a la mejora de la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que, junto con la porosidad, aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de las plantas (FAO, 2017).

El carbono orgánico del suelo como indicador supone un elemento contributivo esencial para la medición del progreso hacia la implementación de las tres convenciones de Río, así como para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) sobre Neutralidad en la Degradación de la Tierra (NDT) y cambio climático. En consecuencia, la información sobre COS se utiliza para atender las obligaciones de informar en diversos organismos internacionales, entre otros (MITECO, 2022c):

- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD): las “tendencias en la reserva de carbono en la superficie y en el suelo”, que incluye como indicador indirecto la “reserva de carbono orgánico del suelo” es uno de los indicadores que la CNULD ha aprobado para medir los resultados de las actuaciones para la lucha con la degradación de las tierras y para alcanzar la meta de la NDT.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): el COS forma parte del Inventario General de Gases de Efecto Invernadero en el marco del sector “Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y selvicultura” (LULUCF por sus siglas en inglés).

Los suelos con mayor valor medio de COS en los primeros 30 cm de suelo (COS30) son los representados por formaciones forestales arboladas, seguido de matorrales y pastizales. En los bosques, a medida que disminuye la fracción de cabida cubierta del arbolado, menor es el contenido de COS. Climáticamente, los suelos atlánticos presentan los niveles más elevados de COS (MITECO, 2022c).

Desarrollo

Para el presente indicador, se propone la consulta del visor del Mapa de carbono orgánico del suelo a 30 cm elaborado por el ICIFOR (INIA, 2022). Este mapa se obtiene como la suma del COS en la muestra 0–10 cm y la muestra 10–30 cm. En este visor se encuentran disponibles tres capas, siendo las utilizadas para obtener la puntuación de este indicador la capa de límites de provincias y la de Carbono orgánico del suelo (T/ha). El resultado cartográfico son 6 categorías agrupadas en función de rangos del COS en T/ha:

- > 150 T/ha.
- 100–150 T/ha.
- 75–100 T/ha.

- 50–75 T/ha.
- 30–50 T/ha.
- < 30 T/ha

Aplicación

Empleo del Visor del contenido de carbono del INIA (2022) para la Península Ibérica e Islas Baleares. Este indicador ofrece puntuaciones *ex ante* y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: los proyectos de forestación y reforestación tras incendio desarrollados en áreas con menor contenido de COS tendrán mejores puntuaciones. La implantación de masas forestales tiene efectos directos sobre el contenido de carbono y su desarrollo fomentará a medio–largo plazo su aumento en el perfil del suelo, mejorando sus propiedades fisicoquímicas.

Los valores de carbono orgánico del suelo para este indicador son inherentes de la ubicación del proyecto y se obtienen a partir de la cartografía en línea del visor (<https://www.inia.es/serviciosyrecursos/recursosdocumentales/visualizadorescartograficos/visordecarbono/Paginas/Home.aspx>). El órgano evaluador tendrá que ser conocedor de la ubicación exacta del área de implantación del proyecto y saber ubicarlo en el mapa en línea. Se obtendrá el nivel COS, el cual deberá introducir dentro de las opciones desplegadas del CRITERIO 6, en el apartado titulado *Indicador 15.1. Carbono orgánico del suelo* de la aplicación/calculadora. De forma automática, el valor de COS introducido es transformado cualitativamente a bueno, regular o pobre:

- Bueno: carbono orgánico entre 30 y 75 T/ha.
- Regular: COS entre 75 y 100 T/ha.
- Pobre: COS mayor de 100 T/ha.

Criterio 7. Resiliencia

La caracterización genética del material forestal de reproducción permite identificar la procedencia de la misma, a la vez que ofrece garantías acerca de su calidad.

Las funciones sociales, económicas, medioambientales, ecológicas y culturales de los montes precisan que, para su gestión sostenible y para la mejora y conservación de los recursos genéticos forestales, los materiales forestales de reproducción de las especies e híbridos que se usen en silvicultura sean fenotípica y genéticamente de alta calidad, así como adecuados a las condiciones del medio en el que se empleen.

En este sentido, se ha desarrollado el Real Decreto 289/2003, sobre Comercialización de los Materiales Forestales de Reproducción, que incorpora legislación de la Unión Europea al respecto.

Indicador 16. Regiones de procedencia

Marco teórico

La región de procedencia se define como la zona o grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales que presentan características genotípicas o genéticas semejantes, teniendo en cuenta límites de altitud cuando procedan. La regulación se encuentra enmarcada por el Real Decreto 289/2003, donde establece las categorías de: material identificado, material seleccionado, material cualificado y material controlado.

Los recursos con los que se desee operar deberán cumplir una serie de requisitos y pertenecer a estas categorías si aparecen las especies en el Anexo I, además deberán etiquetarse debidamente indicando la pureza, peso, número de semillas germinables y el porcentaje de germinación.

Las regiones de procedencia se han diseñado de dos maneras, según la especie: método aglomerativo y método divisivo. El primero de ellos se realiza sobre cada una de las especies seleccionadas y tras un estudio multivariable se agrupan aquellas poblaciones que presentan unas características similares entre sí, mientras que el segundo delimita una serie de regiones a partir de datos climáticos, de altitud, etc. para todas las especies de la península.

En términos generales, se podrá expresar que una región de procedencia está adaptada al Cambio Climático (CC) si se encuentra a una menor altitud en casos de montaña o si se encuentra más al sur en casos de altitud similar. De esta manera, no solo se empleará aquella en que se encuentre el proyecto, sino aquellas que permitan una adaptación de las masas a valores modificados por el CC. Para una mejor descripción deberá identificarse todo el material genético y comprobar que las regiones de procedencia, así como la categoría se corresponde con la idónea.

Desarrollo

Se propone para el desarrollo de este indicador el empleo del visor elaborado por el INIA que permite la visualización de las distintas regiones de procedencia de manera digitalizada [INIA \(2017\)](#). Así, es posible ubicar el proyecto y conocer de qué zonas son compatibles los MFR a emplear.

El indicador de este apartado consistirá, por tanto, en una serie de preguntas contenidas en la Tabla 13:

Tabla 13. Enunciados empleados para la valoración del Indicador 16. Regiones de procedencia.

Primera pregunta	¿El material utilizado o que se empleará está recogido por el RD y se encuentra clasificado? <i>Sí/No.</i>
Segunda pregunta	¿El material seleccionado es de la misma región de procedencia que donde se ubica el proyecto? <i>Sí/No.</i>
Tercera pregunta	¿El material seleccionado es de una región de procedencia la cual se cree se asemejará a la zona del proyecto en el futuro? <i>Sí/No.</i>

Aplicación

Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* basadas en la memoria técnica del proyecto. Dentro del CRITERIO 7 de la aplicación/calculadora, se desarrolló el *Indicador 16. Regiones de procedencia*. El órgano gestor encargado de evaluar el proyecto encontrará las preguntas desarrolladas en la Tabla 13 con un desplegable de respuesta en el que aparece una respuesta dicotómica. Una vez seleccionada la opción de respuesta, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador.

- Bueno: todas las preguntas son afirmativas.
- Regular: la primera y segunda preguntas son afirmativas siendo la tercera negativa.
- Pobre: la segunda y tercera preguntas son negativas.

Si la primera pregunta es negativa deberá seleccionarse la opción “no aplica”.

Indicador 17. Categoría del MFR

Marco teórico

El empleo de individuos genéticamente más variados permite el establecimiento de poblaciones más resilientes frente a las perturbaciones. Más aún, dentro del marco global de cambio climático que conlleva asociados eventos extremos muy inusuales hasta la fecha.

Así, mediante el empleo de las diferentes categorías del Catálogo de Material Forestal de Reproducción establecido por el Real Decreto 289/2003, se pueden seleccionar aquellas que permiten una mayor diversidad genética intraespecífica para aumentar la plasticidad génica de la masa arbórea a instalar.

Las categorías que existen son las siguientes: (1) material identificado, (2) material seleccionado, (3) material cualificado y (4) material controlado. Para conocer sus requisitos mínimos pueden consultarse los Anexos II a V del citado Real Decreto.

Desarrollo

De forma análoga al anterior indicador se ha planteado una cuestión a completar que permita descubrir la adaptabilidad o plasticidad genética del material empleado para la ejecución del proyecto. Se establece en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14. Enunciado empleados para la valoración del Indicador 17. Categoría de MFR.

Primera pregunta	De entre las especies empleadas, ¿cuál es la categoría del MFR empleada para el mayor número de especies? <i>Identificado o seleccionado/Cualificado/Controlado.</i>
------------------	---

Aplicación

Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* extraídas a partir de la memoria del proyecto. Las puntuaciones para este índice varían en función del tipo de material forestal de reproducción empleado. De esta manera la pregunta se responderá a través de una lista desplegable que permita seleccionar las siguientes categorías: identificado, seleccionado, cualificado y controlado. El criterio de puntuación cualitativa es el siguiente: la puntuación se asignará de tal manera que se den puntuaciones más altas a aquellas que se encuentren en una categoría de control inferior de manera que se garantice su diversidad genética.

Dentro del CRITERIO 7 de la aplicación/calculadora, se desarrolló el *Indicador 17. 1. Categoría de MFR*. El órgano gestor encargado de evaluar el proyecto encontrará la pregunta desarrollada en la Tabla 14 con un desplegable. Una vez seleccionada la opción de respuesta, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador, como sigue:

- Bueno: categorías identificadas o seleccionadas para la mayoría de las especies.
- Regular: categoría cualificada para la mayoría de las especies.
- Pobre: categoría controlada para la mayoría de las especies.

Si la especie no se incluye entre las amparadas por el Real Decreto 289/2003, se seleccionará la opción “no aplica”.

BLOQUE III: GESTIÓN Y ACTUACIONES HUMANAS

Criterio 8. Inclusión de los Proyectos dentro de Zonas de Protección

Las figuras de protección respecto a espacios naturales terrestres que existen en España se pueden clasificar en cuatro categorías: *a) internacionales*: como Reservas de la biosfera del Programa MaB de la UNESCO o sitios Ramsar de la Convención relativa a los humedales, entre otras; *b) europeas o comunitarias*; desarrolladas a través de Directivas y reglamentos de la Unión Europea; *c) estatales*: derivadas de la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y de la Ley 43/2003, de Montes y *d) autonómicas*: en desarrollo de las competencias de las Comunidades Autónomas (CCAA), empleando como base los estándares nacionales.

La figura de protección europea que afecta al medio terrestre en mayor medida es la Red Natura 2000, creada a partir de la Directiva 92/43/CEE, de Hábitats. Esta red se desarrolla a nivel nacional mediante la legislación estatal, en concreto la Ley 42/2007, la cual establece que los espacios incluidos en la Red Natura 2000 tendrán consideración de espacios protegidos, debiéndose aprobar planes o instrumentos de gestión, así como medidas reglamentarias que garanticen su no deterioro y mejora de los mismos. Además, la Ley reconoce las siguientes figuras de protección de ámbito terrestre: *Parques* (con legislación específica –Ley 30/2014, de Parques Nacionales–, donde se limita el aprovechamiento de los recursos naturales, y se elaborarán Planes Rectores de Uso y Gestión), *Reservas Naturales* (queda limitada la explotación de recursos, salvo que sea compatible), *Monumentos Naturales* (árboles singulares, entre otros, con protección especial y limitación de explotación de recursos) y *Paisajes Protegidos* (mantenimiento de prácticas de carácter tradicional). Incorpora, además, régimen de protección similar para figuras declaradas en el ámbito de la Directiva como Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), con un régimen transitorio para Lugares de Importancia Comunitaria (LIC).

En cuanto a los montes, la Ley 43/2003 define los *Montes Catalogados de Utilidad Pública (CUP)*, incluidos los esenciales para la protección y sujeción del suelo, los de las cabeceras de las cuencas hidrográficas, los destinados a la mejora forestal, los que protejan infraestructuras, los que contribuyen a la conservación de la biodiversidad, etc. Estos montes incluidos en el CUP deberán ser declarados por las CCAA. Por último, las figuras autonómicas se desarrollan mediante la legislación de cada Comunidad Autónoma, estableciendo en la misma las diferentes restricciones, planes de gestión, etc.

Indicador 18. Trasposición de las categorías UICN a la legislación española

Marco teórico

Las áreas protegidas son uno de los instrumentos más antiguos para conservar la naturaleza y los recursos naturales y constituyen el pilar principal de las leyes de conservación de la naturaleza en toda Europa (Forest Europe, 2020).

Debido al alto desarrollo de distintas figuras de protección a diferentes escalas y países, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) desarrolló una lista de 6 categorías pretendiendo clasificar todos los niveles de protección para que puedan ser comparables entre sí (MITECO, 2022d). Estas categorías son: 1) reserva natural estricta y área silvestre, 2) parque nacional, 3) monumento o característica natural, 4) área de Gestión de hábitat o especie, 5) paisaje terrestre o marino protegido y 6) y 7) usos mixtos con limitaciones.

Para el desarrollo de las metodologías para la cualificación de los proyectos de absorción se tendrá en cuenta como criterio que la inclusión del proyecto dentro de zonas de protección será evaluada a partir de la trasposición de las categorías UICN (MITECO, 2022d) a la legislación española.

Desarrollo

Para poder dar puntuación a este criterio se ha elaborado una trasposición de la legislación española a las categorías UICN, profundizando en el nivel de protección y restricción de uso (Tabla 15).

Tabla 15. Categorías estatales y autonómicas según la clasificación de la Unión Internacional Conservación de la Naturaleza.

Categoría UICN	Estatales	Presencia	Autonómicas	Presencia en las CCAA
I	–	–	Reserva Natural Integral	AR, AS, IC, CA, GA, IB, NA
			Microrreserva	CLM, LR
II	Parque Nacional	Todas las CCAA	Parque Natural	AN, AR, AS, IC, CAN, CYL, CLM, EU, EX, GA, IB, LR, NA
			Humedal	GA
III	Monumento Natural	Todas las CCAA	–	–
IV	Reserva Natural	Todas las CCAA	Reserva Natural (o Especial)	AN, AR, AS, IC, CAN, CLM, CA, EU, EX, GA, IB, LR, MA, MU, NA
			Reserva Fluvial	CLM
			Sitio de Interés Científico	IC, EX
V	Paisaje Protegido	Todas las CCAA	Área Natural Singular	LR
			Enclave Natural	NA
			Paraje Natural	AN, CLM, CA, IB, CV
V/VI	–	–	Área Natural	CAN, NA
			Parque Periurbano	AN, EX
			Parque Regional	CYL, CA, MA, MU
			Parque Rural	IC
<u>Glosario:</u> CCAA: Comunidades Autónomas; AN: Andalucía; AR: Aragón; AS: Principado de Asturias; CA: Cataluña; CAN: Cantabria; CLM: Castilla –La Mancha; CV: Comunitat Valenciana; CYL: Castilla y León; EU: País Vasco o Euskadi; EX: Extremadura; GA: Galicia; IB: Illes Balears; IC: Canarias; LR: La Rioja; MA: Comunidad de Madrid; MU: Región de Murcia; NA: Comunidad Foral de Navarra.				

Aplicación

A partir de la trasposición de la legislación española a las categorías UICN se establece un rango en el que se especifican los diferentes niveles de protección. Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* y su valoración cualitativa se realiza según el siguiente criterio: cuanto mayor sea el grado de protección de la ubicación del proyecto, la conservación del ecosistema, la supervivencia de especies y la provisión de bienes y servicios ecosistémicos se verá mayormente favorecida. A su vez, un mayor grado de protección, supone una mejor integración del espacio en la planificación territorial y en las políticas de gestión de los usos del suelo y de los recursos naturales, permitiendo establecer redes ecológicas coherentes y que, en definitiva, disminuyan la pérdida constante de biodiversidad (MITECO, 2023b).

Las puntuaciones para este índice son inherentes a la ubicación del proyecto. En el desarrollo del proyecto debería de estar especificado el nivel de protección del área de aplicación del proyecto. Una vez conocido el nivel de protección dentro de la legislación nacional o autonómica, el evaluador deberá acudir a la Tabla 15 y comprobar cuál es la categoría UICN que le corresponde.

El siguiente paso y siendo ya conocedor de la categoría UICN es acudir a la aplicación/calculadora. Dentro del CRITERIO 8, aparece un apartado correspondiente a al *Indicador 18. Zonas protegidas*. En primer lugar deberá indicar si la ubicación del proyecto se encuentra en una zona protegida. En caso afirmativo, el evaluador tendrá que seleccionar el desplegable de la categoría correspondiente (I, II, III, IV o V/VI). De forma automática, la categoría UICN es trasformada a un valor cualitativo en bueno, regular o pobre, como sigue:

- Bueno: el proyecto se ubica en una zona protegida de tipo I, II o IV.
- Regular: el proyecto se ubica en una zona protegida de tipo III, V o V/VI.
- Pobre: el proyecto no se ubica en ninguna zona protegida.

Adicionalmente y a modo de apoyo, para comprobar las figuras de protección a nivel nacional, el órgano evaluador podrá acudir al visor del Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad ([IEPNB, 2023](#)). Dentro de los Espacios Protegidos de la pestaña de capas, se puede acceder de forma gráfica a los niveles de protección autonómica y estatal con posibilidad de visualización multicapa

Indicador 19. Instrumentos de gestión

Marco teórico

La declaración de un espacio como zona protegida es solo el primer paso para garantizar su conservación. Para que esa protección sea real, eficaz y sostenible, la normativa ambiental exige la elaboración de instrumentos de gestión y planificación. Estos documentos permiten convertir una figura jurídica de protección en acciones concretas, coordinadas y basadas en criterios científicos y sociales.

De esta manera, es posible garantizar una gestión coherente con los objetivos de conservación definiendo su estado actual, las normas de uso y declarando las acciones prioritarias a llevar a cabo (Ley 42/2007). Así, los instrumentos de gestión también permiten ordenar los usos y actividades permitidas dentro de las zonas protegidas elaborando zonificaciones que respondan a la mejor conservación del patrimonio de biodiversidad.

Por ello, el establecimiento de cualquier proyecto en la zona requiere de un estudio del instrumento de gestión, en aras de garantizar que este favorezca la conservación de la zona y se alinee con los objetivos ambientales.

Desarrollo

Se ha planteado una cuestión a completar que permita descubrir la coherencia entre los instrumentos de gestión y la ejecución del proyecto. Se establece en la siguiente Tabla 16:

Tabla 16. Enunciado empleados para la valoración del Indicador 19. Instrumento de gestión.

Primera pregunta	¿El proyecto plantea acciones coherentes con el instrumento de gestión? <i>Sí/No</i> .
------------------	--

Aplicación

Este indicador ofrecerá puntuaciones *ex ante*. Este planteamiento responde a la elaboración de un proyecto coherente con la gestión de la zona. El criterio de puntuación utilizado es el siguiente: la coherencia de las acciones garantiza el cumplimiento de los objetivos de la zona protegida siendo valorada de forma positiva.

Dentro del CRITERIO 8 de la aplicación/calculadora se desarrolla el *Indicador 19.1. Instrumentos de gestión*. El órgano evaluador encontrará la pregunta desarrollada en la Tabla 16 con un desplegable de respuesta dicotómico de Sí/No. Una vez seleccionada la respuesta para la pregunta, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno o pobre para la puntuación de este indicador, como sigue:

- Bueno: pregunta afirmativa.
- Pobre: pregunta negativa.

Criterio 9. Gestión Forestal Adaptativa y Sostenible

Los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales son ya evidentes en muchos aspectos, y los impactos que se proyectan, de acuerdo con los futuros escenarios climáticos, señalan una intensificación progresiva de estos efectos (García-Güemes y Calama, 2015):

- Desplazamiento y migración de especies forestales por cambio de las condiciones ambientales.
- Procesos de extinción y sustitución de especies.
- Aumento de los procesos de decaimiento asociados con procesos de sequía y ocurrencia de temperaturas estivales extremas.
- La acción de agentes nocivos como plagas y patógenos puede verse favorecida por las nuevas condiciones ambientales y la mayor duración del periodo vegetativo.
- Incremento de las perturbaciones abióticas, tales como incendios de grandes dimensiones.
- Cambios en la productividad primaria neta.

Particularmente, los impactos identificables en los bosques españoles son (García-Güemes y Calama, 2015):

- Dificultades en la regeneración a plena luz de especies hiliófilas en sus límites xerófilos de distribución.
- Episodios de decaimiento y mortalidad en diversas especies.
- Mayor incidencia de plagas, debido tanto a un incremento altitudinal en su área de influencia como al alargamiento o duplicación de los periodos de actividad de los insectos.
- El aumento del límite altitudinal del bosque.

Ante esta problemática, la gestión forestal adaptativa debe incluir un conjunto de acciones cuyo objetivo sea reducir la vulnerabilidad de los bosques frente a los impactos asociados a las nuevas condiciones climáticas y potenciar la resiliencia y capacidad de adaptación de los bosques (Linder y Calama, 2013).

Indicador 20. Evaluación de prácticas adaptativas

Marco teórico

Dados los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas forestales, la gestión forestal adaptativa ha de contemplar propuestas aplicadas a la gestión práctica. Estas prácticas, se pueden englobar en los siguientes principios:

- Incremento de la diversidad inter e intraespecífica: los bosques mixtos son más resistentes a las perturbaciones originadas por sequías o tormentas y son más susceptibles de recuperarse rápidamente tras un episodio catastrófico que los bosques monoespecíficos. Por otro lado, la mayor diversidad supone una ventaja adaptativa al permitir una selección de los individuos mejor adaptados (García-Güemes y Calama, 2015).
- Incremento de la diversidad estructural: diferente grado de vulnerabilidad frente a un daño biótico o abiótico entre los diferentes grupos de tamaño o edad (García-Güemes y Calama, 2015).
- Incremento de la resistencia individual frente a agentes bióticos y abióticos: el mayor estrés limitante en el clima mediterráneo es el déficit hídrico. Las prácticas han de centrarse en el incremento individual del vigor, siendo más resistentes a bajos o

medios niveles de infestación y episodio de sequía. El incremento individual del vigor supone la aplicación de regímenes de claras desde edades tempranas para una reducción del volumen de la masa en pie, reduciendo también así el riesgo de incendio (García-Güemes y Calama, 2015).

- Promover/acelerar cambios de estructuras o especies: en ciertas regiones, las especies arbóreas se encuentran en su límite de habitabilidad con situaciones de decaimiento y/o mortalidad masiva por la disminución de la productividad primaria neta, en combinación de la sequía y los agentes patógenos (McDowell et al., 2008). En estas situaciones, cuando se considere necesario el mantenimiento de una masa forestal, podría plantearse la introducción de procedencias más resistentes a la sequía, garantizando una sustitución gradual y no un desplazamiento de especies, como se establece en el CRITERIO 7.

Desarrollo

Como indicador para valorar el presente criterio se ha propuesto realizar una evaluación de las posibles acciones que puedan ser contempladas dentro del marco de la gestión forestal adaptativa. Para ello, se proponen una serie de preguntas cuyos enunciados tendrán una respuesta dicotómica a modo de Sí y No. Los enunciados de estas preguntas se formulan de acuerdo a los principios teóricos de las prácticas adaptativas (Tabla 17):

Tabla 17. Enunciados empleados para la valoración del Indicador 20. Evaluación de prácticas adaptativas.

Primera pregunta	¿Se incluyen prácticas con el objetivo de incrementar la diversidad inter e intraespecífica? Sí/No.
Segunda pregunta	¿Se incluyen prácticas con el objetivo de incrementar la diversidad estructural? Sí/No.
Tercera pregunta	¿Se incluyen prácticas con el objetivo de incrementar el vigor individual de la masa? Sí/No.
Cuarta pregunta	¿Se incluyen prácticas con el objetivo de acelerar cambios de estructura o de especies? Sí/No.

Aplicación

Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* puesto que será evaluado en función del tipo de gestión que se llevará a cabo en la masa forestal resultante de la implantación del proyecto, cuyos detalles deberán aparecer en la memoria del proyecto. Las puntuaciones para este índice varían en función del tipo de gestión aplicada y su valoración cualitativa sigue el presente criterio: la planificación y ejecución de una silvicultura mucho más localizada en el tiempo basada en la intervención en el momento adecuado permitirá una rápida respuesta a una perturbación o evento desfavorable. Cuanto mayor sea el número de actuaciones llevadas a cabo en el proyecto mayor será la capacidad de orientar a la masa a un estado compatible con un amplio rango de estados consecuencia del cambio climático.

Dentro del CRITERIO 9 de la aplicación/calculadora, se desarrolla el *Indicador 20.1. Evaluación de prácticas adaptativas*. El órgano evaluador encontrará las preguntas desarrolladas en la Tabla 17 con un desplegable de respuesta en el que aparecen contempladas las opciones Sí y No. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las cuatro preguntas, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador.

- Bueno: de tres a cuatro respuestas afirmativas.
- Regular: una o dos respuestas afirmativas.
- Pobre: todas las respuestas negativas.

Indicador 21. Certificación forestal

Marco teórico

La certificación forestal es un proceso voluntario por el cual una entidad certificadora acreditada evalúa la calidad de la gestión forestal y de la producción de madera con respecto a un conjunto de requisitos o normas (denominados estándares) mediante unas auditorías periódicas. Adicionalmente, la certificación forestal es una herramienta a ser considerada en la evaluación de riesgos y como posible instrumento para la mitigación de riesgos detectados (MITECO, 2022e).

Según el alcance existen dos tipos principales de certificación (MITECO, 2022e):

- La certificación de la Gestión Forestal Sostenible (Certificación GFS), que certifica que la gestión del monte cumple con los estándares que cada esquema de certificación impone. Estos estándares son un conjunto de buenas prácticas forestales, criterios de sostenibilidad y normas previamente establecidas que garantizan la sostenibilidad.
- La certificación de la Cadena de Custodia (Certificación CoC), que garantiza la trazabilidad de los productos provenientes de montes certificados con certificación GFS a través de la cadena de suministro. Para ello, todas las entidades que forman parte de la cadena de suministro tienen que estar certificadas, de forma que se establece un enlace entre el bosque y el mercado.

Los principales esquemas de certificación a nivel internacional son:

- Forest Stewardship Council (FSC): tiene certificados de Gestión Forestal Sostenible, Cadena de Custodia y Madera Controlada (este último controla que madera que se mezcla con la madera certificada cumpla con la legalidad) (FSC, 2021).
- Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC): tiene certificados de Gestión Forestal Sostenible y Cadena de Custodia. Este sistema trabaja con esquemas nacionales como: Cerflor (Brazilian Forest Certification Programme), MTCC (Malasia) o SFI–Sustainable Forestry Initiative (Canadá y EEUU), entre otros (PEFC, 2020).

Si bien son los esquemas de certificación más ampliamente utilizados, existen ciertas diferencias entre ellos y diferente grado de validez. Los resultados de la Forest Certification Assessment Guide (FCAG) creada para evaluar la calidad y credibilidad de los esquemas de certificación forestal evidenciaron que PEFC obtiene peores puntuaciones con relación a FSC en aspectos como la participación y el equilibrio de intereses, la fiabilidad de las evaluaciones de la gestión forestal, la transparencia a través de información pública y la participación voluntaria de los propietarios en los grupos de certificación (FCAG, 2006).

Desarrollo

Para poder dar puntuaciones al presente indicador se proponen una serie de preguntas para saber cuál es el estado actual o futuro con respecto a la certificación forestal cuyos enunciados tendrán una respuesta dicotómica (Tabla 18):

Tabla 18. Enunciados empleados para la valoración *ex ante* y *ex post* del Indicador 21. Evaluación de prácticas adaptativas

Enunciados <i>ex ante</i>	
Primera pregunta	¿Dispone la gestión forestal actual de un certificado forestal sostenible? <i>Sí/No.</i>
Segunda pregunta	¿Qué tipo de certificado presenta? <i>PEFC/FSC/Ambos/Otro.</i>
Tercera pregunta	¿Se solicitará un certificado forestal sostenible por la gestión a implementar? <i>Sí/No.</i>
Cuarta pregunta	¿Qué certificado se solicitará? <i>PEFC/FSC/Ambos/Otro.</i>
Enunciados <i>ex post</i>	
Quinta pregunta	¿Se ha obtenido algún certificado forestal? <i>Sí/No.</i>
Sexta pregunta	¿Qué tipo de certificado se ha obtenido? <i>PEFC/FSC/Ambos/Otro.</i>

Aplicación

Este indicador ofrecerá puntuaciones *ex ante* y *ex post*. Este planteamiento responde a la posibilidad de tener o poder adquirir estos certificados. El criterio de puntuación utilizado es el siguiente: la incorporación de certificación a la gestión forestal supone y garantiza el cumplimiento de una serie de criterios o principios que aseguran la calidad de la gestión de forma continuada al ser sometida a procesos de audición. Así, la ya obtención o futura solicitud de estas certificaciones será evaluada de forma positiva.

Dentro del CRITERIO 9 de la aplicación/calculadora se desarrolla el *Indicador 21. Certificación forestal*. El órgano evaluador encontrará las preguntas desarrolladas en la Tabla 18 con un desplegable de respuesta en el que aparecen contempladas las opciones enumeradas, existiendo un apartado para la puntuación *ex ante* y *ex post*. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las preguntas, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador. El apartado *ex post* solo ha de rellenarse en el caso de que se haya solicitado la certificación y el proceso de tramitación haya finalizado, ya sea de forma favorable o desfavorable.

Para la puntuación de este indicador se emplea una metodología aglomerativa que otorga puntuación negativa y positiva sobre una base en función de las respuestas, cuyo valor mínimo será de 0 y máximo de 19.

- Bueno: puntuación de 14 a 19.
- Regular: de 7 a 13 puntos.
- Pobre: de 0 a 6 puntos.

Criterio 10. Restauración

La restauración ecológica queda definida como el proceso de asistir al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004). La restauración ecológica está basada en criterios científicamente contrastados que implica un diagnóstico ecológico. El fundamento teórico y práctico de la restauración se fundamenta en la importancia del ecosistema de referencia, que define los procesos ecológicos que se deben recuperar y que suele ser próximo y semejante al original. Siempre que sea posible, la restauración ha de basarse en el principio de mínima intervención buscando activar la capacidad de autorregeneración de los ecosistemas (Mola, 2018).

La restauración ecológica, siempre que se aplique adecuadamente, contribuye a: 1) proteger la biodiversidad; 2) mejorar nuestra salud y calidad de vida; 3) incrementar la seguridad alimentaria, así como la disponibilidad de agua de calidad; 4) proporcionar bienes y servicios que contribuyen a la actividad económica; 5) favorecer la mitigación, resiliencia y adaptación al cambio climático; 6) y establecer una relación más saludable entre las personas y con el resto de la biodiversidad (Mola, 2024).

Indicador 22. Éxito del proyecto

Marco teórico

Según el sexto principio de la restauración ecológica definido por la *Society for Ecological Restoration* (SER), los proyectos de restauración ecológica buscan el máximo nivel de recuperación posible. Esta recuperación, total o parcial, requiere de tiempo. Durante estos momentos, los gestores deben asumir una gestión adaptativa en el que se mejoren y desarrollen continuamente los objetivos del proyecto para dirigir la recuperación inicial hacia resultados cada vez más exigentes. Una posible herramienta para hacer el seguimiento a lo largo del tiempo y evaluar la recuperación del sistema es “*The 5–Star Recovery System tool*”. Este sistema proporciona herramientas para establecer el nivel de recuperación deseado y evaluar el grado de recuperación del sistema representando la similitud, de muy baja a muy alta, con respecto al ecosistema de referencia (Gann et al., 2019).

Desarrollo

Para el presente documento se propone la utilización de “*The 5–Star Recovery System tool*” de la SER. Este sistema propone dos opciones para evaluar el éxito de los proyectos de restauración ecológica. La primera metodología propuesta es el empleo de estándares genéricos que describen el grado de recuperación del sistema. La metodología que se desarrollará en este documento es el empleo de los 6 atributos clave de los ecosistemas para medir el progreso en una trayectoria de recuperación. Para poder realizar la puntuación de 1 a 5 estrellas, los gestores deben emplear indicadores y métricas de monitoreo específico para los atributos especificados (Tabla 19). En el presente documento se propone la forma de evaluar el éxito de la recuperación a partir de los atributos definidos por la SER (Tabla 19). Los indicadores asociados a estos atributos para poder realizar una adecuada cuantificación no serán especificados aquí. Es responsabilidad del órgano gestor realizar un adecuado seguimiento y monitorización de la evolución de las acciones restaurativas a partir de la definición de indicadores adecuados para los 6 atributos de los ecosistemas. A partir de la definición de los indicadores y su valoración, el órgano gestor podrá emplear “*The 5–Star Recovery System tool*”.

Para poder dar puntuaciones al indicador *Éxito del proyecto* es necesario en primer lugar definir una pregunta con respuesta dicotómica a modo de Sí y No para poder hacer uso a posterior del sistema de 5 estrellas definido por la SER (Tabla 19).

Tabla 19. Enunciados empleados para la valoración ex post del Indicador 22. *Éxito del proyecto*.

Primera pregunta	¿El proyecto de absorción de CO ₂ queda definido como un proyecto de restauración ecológica? <i>Sí/No</i> .
Segunda pregunta	En caso afirmativo, tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo AUSENCIA DE PERTURBACIONES? 1/2/3/4/5.
Tercera pregunta	Tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo CONDICIONES FÍSICAS? 1/2/3/4/5.
Cuarta pregunta	Tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo COMPOSICIÓN DE ESPECIES? 1/2/3/4/5.
Quinta pregunta	Tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo DIVERSIDAD ESTRUCTURAL? 1/2/3/4/5.
Sexta pregunta	Tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo FUNCIONES DEL ECOSISTEMA? 1/2/3/4/5.
Séptima pregunta	Tras el empleo de la “ <i>The 5–Star Recovery System tool</i> ”, ¿cuál es la puntuación obtenida por el proyecto en el atributo FLUJOS EXTERNOS? 1/2/3/4/5.

Las preguntas 2–7 ofrecen una respuesta multicotómica con 5 opciones de respuesta en relación a las 5 estrellas que emplea la SER para evaluar el éxito de los proyectos (Tabla 19).

Tabla 20. Detalle de las puntuaciones ofrecidas por los 6 atributos clave de los ecosistemas para medir el progreso y el éxito de la restauración según "The 5–Star Recovery System tool". Los indicadores para la puntuación de los atributos quedan a cargo del órgano evaluador. Fuente: modificado de Gann et al. 2019.

Atributos	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
Ausencia de perturbaciones	Se elimina la perturbación y el sitio comienza a recuperarse.	Las perturbaciones de las áreas adyacentes comienzan a gestionarse o mitigarse.	Todas las perturbaciones adyacentes se gestionan o mitigan en un grado bajo.	Todas las perturbaciones adyacentes se gestionan o mitigan en un grado intermedio.	Todas las perturbaciones gestionadas o mitigadas en gran medida.
Condiciones físicas	Problemas físicos y químicos graves remediados.	Propiedades químicas y físicas del sustrato en vías de estabilización dentro del rango del ecosistema de referencia.	Sustrato estabilizado dentro del rango del ecosistema de referencia y que favorece el crecimiento de la biota nativa característica.	Sustrato que mantiene de forma segura las condiciones adecuadas para el crecimiento continuo y el reclutamiento de la biota nativa característica.	Sustrato que presenta características físicas y químicas muy similares a las del ecosistema de referencia, con evidencia de que puede sustentar indefinidamente especies y procesos.
Composición de especies	Algunas especies nativas colonizadoras presentes (p. ej., ~2% de las especies en el ecosistema de referencia). Amenaza moderada por presencia especies invasoras. Nichos de regeneración disponibles.	Un pequeño subconjunto de especies nativas características establecidas (p. ej., ~10% del ecosistema de referencia). Amenaza baja a moderada por presencia de especies invasoras.	Un subconjunto de especies nativas clave (p. ej., ~25% del ecosistema de referencia) establecidas. Amenaza muy baja por presencia especies invasoras.	Diversidad sustancial de biota nativa característica (p. ej., ~60% del ecosistema de referencia). Amenaza muy baja por presencia de especies invasoras.	Alta diversidad de especies nativas características presentes (p. ej., >80% del ecosistema de referencia); mayor potencial de colonización de más especies nativas con el tiempo. No se conoce ninguna amenaza in situ por parte de especies invasoras.
Diversidad estructural	Uno o menos estratos biológicos presentes y sin patrones espaciales ni complejidad trófica de la comunidad en relación con el ecosistema de referencia.	Más estratos presentes, pero con patrones espaciales y complejidad trófica bajos en relación con el ecosistema de referencia.	La mayoría de los estratos presentes y con patrones espaciales y complejidad tróficas bajos en relación con el sitio de referencia.	Todos los estratos presentes. Patrones espaciales evidentes y una complejidad trófica sustancial en desarrollo en relación con el ecosistema de referencia.	Todos los estratos presentes y patrones espaciales y complejidad trófica altos. Mayor complejidad y patrones espaciales capaces de autoorganizarse para asemejarse mucho al ecosistema de referencia.
Funciones del ecosistema	Los sustratos y la hidrología se encuentran en una etapa inicial, con capacidad para el desarrollo futuro de funciones similares a las de referencia.	Los sustratos y la hidrología muestran un mayor potencial para una gama más amplia de funciones, incluyendo el ciclo de nutrientes y la provisión de hábitats y recursos para otras especies.	Evidencia de inicio de funciones (p. ej., ciclo de nutrientes, filtración de agua y provisión de hábitat y recursos para diversas especies).	Evidencia sustancial de inicio de funciones y procesos clave, incluyendo la reproducción, dispersión y reclutamiento de especies nativas.	Evidencia considerable de funciones procesos clave que aseguran la resiliencia del ecosistema.
Flujos externos	Se ha identificado el potencial de intercambios (p. ej., de especies, genes, agua, fuego) con el paisaje circundante o el entorno acuático.	Se ha organizado una conectividad para mejorar los intercambios positivos (y minimizar los negativos) mediante la cooperación con las partes interesadas. Se están restableciendo los vínculos.	Se están evidenciando los intercambios positivos entre el sitio y el entorno externo (p. ej., más especies, flujo genético, etc.).	Se ha establecido un alto nivel de intercambios positivos con otros ecosistemas nativos; se ha controlado la presencia de especies indeseables y perturbaciones.	Se ha demostrado que los intercambios externos son muy similares a los de referencia, y se han establecido y puesto en marcha mecanismos de gestión integrada a largo plazo con un paisaje más amplio.

Aplicación

Las puntuaciones para este indicador serán ofrecidas por la aplicación y empleo de “*The 5–Star Recovery System tool*” (Tabla 20). El *Éxito del proyecto* ofrece puntuaciones *ex post* bajo el siguiente criterio: las mejores puntuaciones serán ofrecidas a aquellos proyectos cuyas funciones se encuentren más próximas a los ecosistemas de referencia, es decir, a los proyectos mejor recuperados. Resulta necesario destacar que este indicador solo ofrecerá puntuaciones en el caso de que la restauración sea un objetivo incluido dentro del proyecto.

Dentro del CRITERIO 10 de la aplicación/calculadora se desarrolla el *Indicador 22. Éxito del proyecto*. El órgano evaluador encontrará en este apartado las preguntas desarrolladas en la Tabla 19. Como se ha indicado en el párrafo anterior, las preguntas 2–7 solo podrán ser respondidas en el caso que el proyecto a evaluar tenga un objetivo restaurativo (primera pregunta con respuesta afirmativa; Tabla 19). Cuando la restauración quede contemplada en el proyecto, el órgano evaluador deberá responder a las siguientes preguntas rigiéndose por las especificaciones del estado del sistema definidas en la Tabla 20 para cada uno de los atributos. Se recuerda que el estado de similitud del sistema a evaluar con respecto al ecosistema de referencia tiene que ser evaluado a partir de indicadores medibles que no quedarán definidos en este documento. Los órganos evaluadores deberán definir los indicadores para cada atributo para, a continuación, poder realizar la evaluación propia a partir de “*The 5–Star Recovery System tool*” (Tabla 20). Una vez obtenidas las puntuaciones para los 6 criterios, el órgano evaluador deberá seleccionar las opciones de respuesta para las preguntas de este indicador. De forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador, como sigue:

- Bueno: la puntuación agregada de los atributos va de 23 a 30.
- Regular: la puntuación se recoge entre 15 y 22.
- Pobre: la puntuación es de 6 a 14 puntos.

Criterio 11. Provisión de Servicios Ecosistémicos

El empleo de los servicios ecosistémicos es crucial para la correcta valoración de la biodiversidad en entornos forestales, ya que garantizan el funcionamiento, la resiliencia y la supervivencia de los sistemas al proveer recursos esenciales como agua, regulación climática, polinización y ciclo de nutrientes.

Indicador 23. Indicadores de servicios ecosistémicos de los ecosistemas forestales

Marco teórico

Los ecosistemas constituyen un capital natural que es necesario conservar, al menos en unos niveles críticos, para disponer de todos los servicios que estos nos proporcionan (Daily, 1997). El mantenimiento de este capital natural permite el suministro sostenido de flujos de servicios de los ecosistemas de cara al futuro, ayudando así a garantizar la continuidad del bienestar humano. En concreto, los ecosistemas forestales son elementos clave para el mantenimiento de la biodiversidad global. Sustentan diversas funciones ecosistémicas y brindan múltiples y esenciales servicios ecosistémicos (SSEE) a la sociedad (Roces-Díaz et al., 2018).

Probablemente la versión más difundida y aceptada para la definición de los SSEE es la utilizada por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) (MA, 2003): beneficios que la población obtiene de los ecosistemas. A partir de esta definición, dentro del marco conceptual de la EEM, se ofrece el siguiente sistema de clasificación de los SSEE:

- Servicios de aprovisionamiento, son aquellos referidos a la cantidad de bienes o materias primas que un ecosistema ofrece, como la madera, el agua o los alimentos.
- Servicios de regulación, son aquellos que derivan de las funciones clave de los ecosistemas, que ayudan a reducir ciertos impactos locales y globales (por ejemplo, la regulación del clima y del ciclo del agua, el control de la erosión del suelo, la polinización, etc.).
- Servicios culturales, son aquellos que están relacionados con el tiempo libre, el ocio o aspectos más generales de la cultura.
- Servicios de soporte, como la biodiversidad y los procesos naturales del ecosistema, que garantizan buena parte de los anteriores.

Desarrollo

Para el desarrollo de la metodología del presente indicador, se ha procedido a la realización de una búsqueda en la literatura para la obtención de los indicadores empleados para la caracterización y evaluación de los SSEE que brindan los ecosistemas forestales (Tabla 21). A partir de esta tabla, el órgano gestor dispone de información objetiva y cuantificable para la valoración de los SSEE de los ecosistemas forestales.

Tabla 21. Indicadores empleados para la caracterización de los servicios ecosistémicos de los ecosistemas forestales.

SSEE	Indicador	Descripción	Unidades	Fuente
Aprovisionamiento				
Provisión de alimentos	Producción de setas	Producción esperada de hongos comestibles en bosques en un año típico.	kg/ha·año	Roces–Díaz et al. (2018) Pérez–Luque et al. (2021)
	Producción de bayas y setas	Superficie de hábitats productores de bayas y setas.	Producción media anual (kg/ha·año)	Mononen et al. (2016)
	Producción de frutas	Producción actual de frutas.	Método del precio de mercado de la fruta	Xie et al. (2010)
Provisión de agua	Abastecimiento de agua	Agua exportada anualmente por escorrentía superficial o drenaje profundo al nivel freático de cada parcela forestal.	l/m ² ·año	Roces–Díaz et al. (2018)
		Relación entre la escorrentía y la precipitación.	–	Xie et al. (2010)
	Agua subterránea apta para el consumo	Suministro de agua potable para uso doméstico procedente de fuentes subterráneas.		Tiemann y Ring (2022)
Provisión de energía	Madera y leña	Extracciones de madera y recolección de leña en bosques públicos y privados a nivel municipal por año.	T/ha·año	Roces–Díaz et al. (2018)
		Incremento en biomasa.	T/ha·año	Pérez–Luque et al. (2021)
		Tasa de crecimiento anual de la madera.	m ³ /ha·año	Xie et al. (2010) Tiemann y Ring (2022)
Regulación de la contaminación	Absorción de óxidos nitrosos	–	–	Xie et al. (2010)
	Absorción de dióxido de azufre	–	–	Xie et al. (2010)
	Retención de polvo	–	–	Xie et al. (2010)
	Reducción de ruido	–	–	Xie et al. (2010)
	Liberación de fitoncidias	–	–	Xie et al. (2010)
	Liberación de aeróniones	–	–	Xie et al. (2010)
	Eliminación de la contaminación atmosférica	Capacidad de eliminación de contaminación atmosférica no crítica por área forestal.	µg/m ³ ·ha·año	Tiemann y Ring (2022)
Regulación				
Regulación del clima	Sumideros de carbono forestal	Absorción de carbono de la biomasa aérea y subterránea.	T/ha·año	Roces–Díaz et al. (2018) Tiemann y Ring (2022)
			T/ha·año	Pérez–Luque et al. (2021)
	Almacenamiento de carbono	Superficie de almacenamiento de carbono de ecosistemas forestales.	Tasa de absorción de CO ₂	Mononen et al. (2016)
	Emisión de oxígeno	Tasa de fijación de CO ₂ y ratio CO ₂ /O ₂ en la ecuación de la respiración y la ecuación de la fotosíntesis.	Método de costes de deforestación.	Xie et al. (2010)
	Índices de vegetación (NDVI, EVI)	–	–	Pérez–Luque et al. (2021)

SSEE	Indicador	Descripción	Unidades	Fuente
Fertilidad del suelo	Carbono orgánico del suelo	Cantidad de carbono orgánico en el suelo.	T/ha	Roces-Díaz et al. (2018)
Regulación del agua	Capacidad de almacenamiento de agua en las copas de los árboles y el suelo	Suma de la capacidad de almacenamiento de agua del dosel y la capacidad de retención de agua del suelo para cada parcela forestal.	l/m ² -año	Roces-Díaz et al. (2018)
	Intercepción de la lluvia	Relación entre la intercepción de la lluvia por el dosel y la hojarasca y la porosidad del suelo.	–	Xie et al. (2010)
Protección frente a inundaciones	Cobertura de bosque ripario R4	Cobertura de bosque ripario alrededor de cursos de agua considerando una zona de amortiguamiento de 25 m.	%	Roces-Díaz et al. (2018)
Control de la erosión	Control de la erosión	Cobertura forestal de áreas con pendiente superior al 30 %.	%	Roces-Díaz et al. (2018)
Cultural				
Recreación	Turismo rural	Número de plazas en establecimientos de turismo rural por municipio.	N.º de plazas/ha	Roces-Díaz et al. (2018)
		Áreas naturales preferidas.	Empleos generados por el turismo rural.	Mononen et al. (2016)
			Personas/año	Tiemann y Ring (2022)
		Número de visitantes.	Número de visitantes.	Pérez-Luque et al. (2021)
		Accesibilidad espacial de los bosques en una región específica.	Personas/ha	Tiemann y Ring (2022)
Uso del paisaje	Rutas de Wikiloc	Rutas grabadas en Wikiloc o similares.	N.º de rutas/ha	Roces-Díaz et al. (2018)
	Número de fotografías		Número de fotografías	Pérez-Luque et al. (2021)
Simbólico	Observaciones de animales	Observaciones de especies animales introducidas en el portal web Ornitho.cat o similares.	N.º de obs/ha-año	Roces-Díaz et al. (2018)
	Especies singulares	–	N.º de especies	Pérez-Luque et al. (2021)
Protección	Red Natura 2000	Superficie de espacios protegidos incluidos en la Red Natura 2000.	%	Roces-Díaz et al. (2018)
Científico	Solicitudes de investigación	–	Número de solicitudes de investigación	Pérez-Luque et al. (2021)
	Metodologías de monitoreo socioecológico	–	Densidad de monitoreo de las metodologías.	Pérez-Luque et al. (2021)
Educativo	Accesibilidad a áreas de educación ambiental	Accesibilidad espacial de las instalaciones forestales relacionadas con la educación ambiental en una región específica.	Personas/ha	Tiemann y Ring (2022)
	Preferencia de zonas de educación ambiental	Personas con preferencia por utilizar instalaciones forestales relacionadas con la educación ambiental.	Personas/año	Tiemann y Ring (2022)
	Empleo de zonas de educación ambiental	Personas que utilizan instalaciones forestales relacionadas con la educación ambiental.	Personas/año	Tiemann y Ring (2022)

SSEE	Indicador	Descripción	Unidades	Fuente
Soporte				
Biodiversidad	Riqueza de especies de aves	–	N.º de especies	Pérez-Luque et al. (2021)
	Diversidad de hongos	–	N.º de especies	Pérez-Luque et al. (2021)
	Diversidad genética	–	–	Pérez-Luque et al. (2021)
	Diversidad microbiológica	–	–	Pérez-Luque et al. (2021)
	Riqueza de madera	–	N.º de especies	Pérez-Luque et al. (2021)
Formación del suelo	Acumulación de nutrientes vegetales		Producción primaria neta	Xie et al. (2010)
	Descomposición de la hojarasca	–	Tasa de descomposición de la hojarasca	Xie et al. (2010)
Conservación del suelo	Reducción de las áreas abandonadas	Basado en la conservación del suelo, la densidad aparente del suelo y la profundidad del suelo.	–	Xie et al. (2010)
	Reducción de la deposición de sedimentos	Basado en la conservación del suelo, la densidad aparente del suelo y la proporción de deposición de sedimentos.	–	Xie et al. (2010)
	Reducción de la pérdida de nutrientes del suelo	Basado en la conservación del suelo y el contenido de nutrientes en el suelo.	–	Xie et al. (2010)

Para el presente indicador, se propone una metodología cualitativa y una metodología cuantitativa aplicando la Tabla 21:

- Metodología cualitativa: elaboración de un listado en el que se valore la presencia/ausencia de los indicadores para los SSEE desarrollados en la Tabla 21, teniendo en cuenta que todos los indicadores tienen la misma importancia dentro del sistema forestal.
- Metodología cuantitativa: tras la cuantificación pormenorizada de los indicadores presentes, se propone analizar la evolución de cada uno de ellos dando como resultado una matriz que indique el número que mejoran, disminuyen o se mantienen estables (ejemplo en Tabla 22). El número final de cada categoría será el que se tendrá en cuenta para la valoración final de este indicador (tendencia en la Tabla 22). Los mecanismos de cuantificación de los indicadores proporcionados no quedan aquí detallados y será responsabilidad del órgano gestor hacer una adecuada medición de los mismos. En el caso de que se seleccionen indicadores que no cuenten con unidades, se deja a libre elección de medida su cuantificación por parte del órgano gestor.

Tabla 22. Ejemplo de aplicación de la metodología cuantitativa del Indicador 23.

Indicador del SE	Momento 1	Momento 2	Tendencia
Producción de setas	22 kg/ha-año	15 kg/ha-año	Disminución ↓
Observaciones de animales	23 observaciones/año	37 observaciones/año	Mejora ↑
Control de la erosión	35 %	34 %	Estable ↔

Para poder obtener las puntuaciones para este indicador, tanto para la metodología cualitativa como para la cuantitativa, se evaluará la tendencia o evolución en cuanto a los indicadores de los SSEE. Por ello, se necesitan dos momentos de conteo de indicadores. El momento para la realización del primer conteo, es decir, el momento *ex ante*, deberá realizarse antes de la implantación del proyecto o en caso de imposibilidad, en las primeras fases de acción del mismo. Este conteo se realiza para ser conocedores del estado de los indicadores de los SSEE antes de la implantación del proyecto a modo de punto de partida. El tiempo para la realización del segundo conteo (*ex post*) deberá ser suficiente (20, 30, 40 o más años) para que el sistema haya alcanzado el clímax en cuanto a la provisión de SSEE.

Para poder dar puntuaciones al indicador *Indicadores de servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales* se proponen una serie de enunciados para la metodología cualitativa y la metodología cuantitativa (Tabla 23):

Tabla 23. Enunciados empleados para la valoración *ex post* del Indicador 23. Indicadores de servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales.

Metodología cualitativa	
Primera pregunta	¿Cuál es la tendencia de los indicadores de los SSEE? <i>Aumento/Disminución/Estabilidad.</i>
Metodología cuantitativa	
Segunda pregunta	¿Cuántos indicadores mejoran su tendencia? 1/ 2/3 ... (n).
Tercera pregunta	¿Cuántos indicadores disminuyen su tendencia? 1/ 2/3 ... (n).
Cuarta pregunta	¿Cuántos indicadores mantienen estable su tendencia? 1/ 2/3 ... (n).

Para la obtención de la puntuación del presente indicador se aplica de forma combinada la metodología cualitativa y la metodología cuantitativa desarrolladas a partir de los enunciados de la Tabla 23. Ante imposibilidad de realización de la metodología cuantitativa por complejidad en su operación, se podrán obtener puntuaciones únicamente de la metodología cualitativa, siempre aconsejando la aplicación de ambas.

Aplicación

Las puntuaciones para este indicador serán ofrecidas utilizando como base la aplicación y empleo de la Tabla 21 y los enunciados establecidos en la Tabla 23. El indicador *Indicadores de servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales* ofrece puntuaciones *ex post* evaluando la tendencia o evolución de los indicadores de los SSEE bajo el siguiente criterio: los proyectos que presenten una mejora en la tendencia de los indicadores seleccionados para la valoración de los SSEE obtendrán mejores puntuaciones que aquellos que muestran tendencias estables o decrecientes.

Dentro del CRITERIO 11 de la aplicación calculadora se desarrolla el *Indicador 23. Indicadores de servicios ecosistémicos de los ecosistemas forestales*. El órgano evaluador encontrará en este apartado las preguntas desarrolladas en la Tabla 23. Como ya se ha indicado en el apartado anterior, el órgano evaluador deberá servirse de la información contenida en la Tabla 21 para cumplimentar debidamente los enunciados a partir de los cuales se puntuará este indicador. Se recuerda, que las puntuaciones para este indicador se obtienen a partir de la aplicación de la metodología cualitativa y la metodología cuantitativa. Aunque, si bien la parte cuantitativa excede la capacidad operativa del órgano gestor, únicamente se obtendrán puntuaciones de la metodología cualitativa.

Una vez obtenido el listado de los indicadores de los SSEE y su cuantificación en los momentos de conteo diferenciados, el órgano evaluador deberá seleccionar las opciones de respuesta para las preguntas de este indicador. De forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador.

Para la puntuación de este indicador se emplea una metodología aglomerativa que otorga puntuación negativa y positiva sobre una base en función de las respuestas, cuyo valor mínimo será de 0 y máximo de 14.

- Bueno: la puntuación resultante es de 11 a 14 puntos.
- Regular: la puntuación varía de 6 a 10 puntos.
- Pobre: la puntuación se sitúa entre 0 y 5 puntos.

Criterio 12. Valoración Socioeconómica y Cultural.

La valoración socioeconómica y cultural de los bosques es fundamental para comprender y conservar la biodiversidad forestal, ya que permite reconocer no solo su importancia ecológica, sino también el papel que desempeñan en la vida y el bienestar de las comunidades humanas. Integrar aspectos como los usos tradicionales, los conocimientos locales, las prácticas productivas y las necesidades sociales ayuda a diseñar estrategias de manejo sostenible que sean socialmente justas y ambientalmente efectivas. Además, al identificar el valor económico de los servicios ecosistémicos (como la provisión de agua, alimentos, medicinas o materiales) se fortalece la toma de decisiones y se promueven políticas que incentivan la conservación. De este modo, la diversidad biológica se protege no solo por su importancia ecológica, sino también por su estrecha relación con la identidad cultural, la economía local y la calidad de vida de las personas.

Indicador 24. Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales

Marco teórico

Para poder realizar una valoración socioeconómica y cultural, se ve necesario emplear ciertos elementos de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA). La EIA es el procedimiento para toma de decisiones acerca de la actitud de un territorio para acoger a una determinada actuación y definir medidas complementarias, preventivas o correctoras para facilitar dicha acogida (Canter y Echániz, 1998).

Resulta necesario considerar el medio socioeconómico en la EIA porque lo socioeconómico y lo cultural se integran en el medio ambiente. El medio ambiente no solo incluye aspectos biofísicos, sino también socioeconómicos (hay que analizar ambos y sus interacciones). El medio ambiente incluye los elementos biofísicos, pero esos elementos son también, en términos sociales, recursos, referentes simbólicos o identitarios y, en todo caso, un patrimonio o herencia que pasa de generación en generación. De esta manera, los factores socioeconómicos pueden ser determinantes para la viabilidad y la sostenibilidad de una intervención (hay una sostenibilidad social y económica). La dimensión socioeconómica de la EIA abarca: (1) el diagnóstico del medioambiente social, (2) la identificación y valoración de las alteraciones sociales, (3) la evaluación del impacto social de las diversas alternativas posibles y (4) las medidas correctoras sociales (Pardo, 1994).

Desarrollo

Para el desarrollo del presente indicador se propone la creación de una matriz causa–efecto con su consiguiente valoración cualitativa simple para la determinación del grado de importancia de los impactos sobre el medio socioeconómico y cultural por la implantación del proyecto. A continuación, se propone un ejemplo teórico y metodológico tipo de cómo sería la construcción de una matriz causa–efecto y sus siguientes pasos.

Las matrices causa–efecto son trabajos de técnicos en las que no se disponen de criterios objetivos para asignar valoraciones y quedan resueltos sobre la base del conocimiento disponible o de la experiencia. Con el uso de estas matrices se pretende introducir una herramienta para valorar en la cual se sintetiza la información que se ha recogido y analizado previamente y que puede delimitar los impactos que se deben

someter a un análisis intensivo. Estas matrices muestran las acciones del proyecto o actividades en eje de ordenadas y los factores ambientales pertinentes a lo largo del otro eje la matriz, es decir, en el eje de abscisas (Canter y Echániz, 1998). Cuando se espera que una acción determinada provoque un cambio en un factor ambiental, este se apunta en el punto de intersección de la matriz. Los cinco factores del medio socioeconómico a tener en cuenta son: (1) factores demográficos, (2) factores socioculturales, (3) factores económicos y (4) salud y bienestar (Tabla 24).

Tabla 24. Ejemplo de matriz causa–efecto para la identificación de impactos.

Acciones		Factores demográficos	Factores socioculturales	Factores económicos			Salud y bienestar
				Sector primario	Sector secundario	Sector terciario	
Fase de planificación	Presentación pública	–	Rechazo por conflicto con actividad primaria (agricultura, ganadería, etc.).	–	–	–	–
	Expropiaciones	–	Beneficio económico del propietario.	Recalificación. Reducción de la productividad agrícola o carga ganadera.	–	–	–
	Contratación del personal	Aumento de la población activa. Aumento de la densidad poblacional en zonas rurales y comarcales.	Alteración en el sistema cultural y tradiciones. Diversificación cultural. Oportunidad para el desarrollo de actividades de ocio. Afección de la identidad local.	–	Desarrollo del sector secundario debido a la creación de puestos de trabajo.	Desarrollo del sector servicios debido a la creación de puestos de trabajo.	–
Fase de implantación de la masa	Preparación del suelo	–	Pérdida del paisaje tradicional.	–	–	–	Riesgo de erosión.
	Maquinaria	–	–	–	–	–	Emisión de contaminantes acústicos, lumínicos y gaseosos.
	Plantación	–	Discontinuidad vertical manifiesta.	–	–	–	Emisión de contaminantes acústicos, lumínicos y gaseosos.
	Siembra	–	Discontinuidad vertical manifiesta.	–	–	–	Emisión de contaminantes acústicos, lumínicos y gaseosos.

Acciones		Factores demográficos	Factores socioculturales	Factores económicos			Salud y bienestar
				Sector primario	Sector secundario	Sector terciario	
Fase de funcionamiento	Contratación del personal	Aumento de la población activa. Aumento de la densidad poblacional en zonas rurales y comarcales.	Alteración en el sistema cultural y tradiciones. Diversificación cultural. Oportunidad para el desarrollo de actividades de ocio. Afección de la identidad local.	–	Desarrollo del sector secundario debido a la creación de puestos de trabajo.	Desarrollo del sector servicios debido a la creación de puestos de trabajo.	–
	Prácticas selvícolas	–	Rechazo a eliminación de árboles.	Disminución de precio de mercado por aporte de productos forestales.	Disminución del coste de materia prima por productos forestales.		
	Desplazamiento productos madereros	–	–	–	–	–	Generación de polvo. Incremento de la polución.
Fase de corta final	Contratación del personal	Aumento de la población activa. Aumento de la densidad poblacional en zonas rurales y comarcales.	Alteración en el sistema cultural y tradiciones. Diversificación cultural. Oportunidad para el desarrollo de actividades de ocio. Afección de la identidad local.	–	Desarrollo del sector secundario debido a la creación de puestos de trabajo.	Desarrollo del sector servicios debido a la creación de puestos de trabajo.	–
	Desplazamiento productos madereros	–	–	–	–	–	Generación de polvo. Incremento de la polución.

A continuación, los impactos identificados en la matriz causa–efecto se valorarán cualitativamente. La valoración cualitativa de impactos ambientales se realiza para aquellos impactos que debido a su naturaleza no requieren de una valoración precisa ni profunda. Esta valoración pretende disminuir al máximo la subjetividad que le caracteriza (Tabla 25). De esta manera, los impactos se valorarán en función de las siguientes características:

- (1) **Carácter:** indica el carácter positivo o negativo del impacto según sea beneficioso o perjudicial para el marco socioeconómico del territorio donde se implanta el proyecto. Se indica como positivo (+) o negativo (-).
- (2) **Tipo de acción:** indica la inmediatez o la interdependencia respecto a la incidencia con la que se hace visible un impacto sobre un determinado factor ambiental:
 - a. Efecto directo: una incidencia inmediata sobre algún aspecto ambiental (de carácter socioeconómico).
 - b. Efecto indirecto: no supone una incidencia inmediata, pero puede tenerla por la interrelación y la interdependencia respecto a otros factores e impactos.
- (3) **Momento:** tiempo que transcurre hasta que se produce el efecto de la acción impactante:
 - a. Corto plazo: impacto visible en un tiempo inferior a un año.
 - b. Medio plazo: impacto visible entre uno y cinco años.
 - c. Largo plazo: tarda en manifestarse más de cinco años.
- (4) **Cuenca espacial:** extensión de la superficie afectada por el impacto:
 - a. Localizado (impacto afecta a una superficie pequeña y concreta).
 - b. Extensivo (impacto afecta a una gran superficie).
- (5) **Reversibilidad:** capacidad de asimilación que posee el entorno para mitigar (de forma natural) los efectos producidos:
 - a. Efectos reversibles: los que son asimilables por el entorno a medio plazo.
 - b. Efectos irreversibles: los no asimilables por el entorno (imposibilitan el retorno a una situación análoga a la situación previa al proyecto).
- (6) **Recuperabilidad:** capacidad que posee el entorno para poder autorrecuperarse o ser recuperado por la acción humana:
 - a. Efectos recuperables: los que pueden ser eliminables o reemplazables, retornando a la situación anterior al proyecto (en el caso de efectos en el plano socioeconómico, la recuperabilidad implica normalmente intervención humana).
 - b. Efectos irrecuperables suponen alteraciones definitivas, que imposibilitan la recuperación del estado anterior.
- (7) **Continuidad:** manifestación temporal de los efectos de un impacto:
 - a. Efectos continuos: aquellos que manifiestan una alteración constante en el tiempo (desaparición núcleos de población, eliminación equipamientos, alteraciones o riesgos para la salud...).
 - b. Efecto discontinuo: se manifiestan a través de alteraciones irregulares en su permanencia (movimientos migratorios, alteración precios suelo, incremento de rentas derivadas de actividades estacionales...).
- (8) **Probabilidad:**
 - a. Efecto desconocido cuando desconocemos la probabilidad de que ocurra realmente.
 - b. Efecto probable cuando existe una certeza significativa de que puede ocurrir.
 - c. Efecto improbable cuando no existe esa certeza (cuando lo más probable es que el efecto no ocurra).

Tabla 25. Ejemplo de matriz cualitativa de valoración de impactos.

	CARACTERÍSTICAS DE LOS IMPACTOS																	
	Carácter		Tipos de acción		Momento			Espacio		Reversabilidad		Recuperabilidad		Continuidad		Probabilidad		
	Positivo	Negativo	Directo	Indirecto	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo	Localizado	Extendido	Reversible	Irreversible	Recuperable	Irrecuperable	Continuo	Discontinuo	Desconocido	Probable	Improbable
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES DEMOGRÁFICOS																		
Aumento de la población activa.	X		X		X				X	X		X			X		X	
Aumento de la densidad poblacional en zonas rurales y comarcales.	X		X		X				X	X		X			X		X	
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES SOCIOCULTURALES																		
Rechazo por conflicto con actividad primaria (agricultura, ganadería, etc.).		X	X		X				X	X		X			X		X	
Beneficio económico del propietario.	X		X		X			X			X		X		X		X	
Alteración en el sistema cultural y tradiciones.		X		X		X			X	X		X			X		X	
Oportunidad para el desarrollo de actividades de ocio.	X			X	X				X	X		X			X		X	
Afección de la identidad local.		X		X		X			X	X		X			X		X	
Pérdida del paisaje tradicional.		X	X		X			X			X	X		X			X	
Discontinuidad vertical manifiesta.		X	X		X			X		X		X		X			X	
Rechazo a eliminación de árboles.		X	X		X				X	X		X			X			X
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES ECONÓMICOS																		
Recalificación.		X	X		X			X			X		X	X			X	
Reducción de la productividad agrícola o carga ganadera.		X	X		X			X			X		X	X			X	
Disminución de precio de mercado por aporte de productos forestales.	X		X				X		X	X		X		X		X		
Desarrollo del sector secundario debido a la creación de puestos de trabajo.	X		X		X				X		X	X		X			X	
Disminución del coste de materia prima por productos forestales.	X		X				X		X	X		X		X		X		
Desarrollo del sector servicios debido a la creación de puestos de trabajo.	X			X		X			X	X		X		X			X	
IMPACTOS SOBRE LA SALUD Y EL BIENESTAR																		
Riesgo de erosión.		X		X			X	X		X		X			X		X	
Emisión de contaminantes acústicos, lumínicos y gaseosos.		X	X		X			X		X		X			X		X	
Generación de polvo.		X	X		X				X	X		X			X		X	
Incremento de la polución.		X	X		X				X	X		X			X			X

Una vez identificados todos los posibles efectos ambientales, se cribarán los efectos según su nivel de significatividad. A las características de los impactos se les asignará un valor numérico, de forma que se calcule su importancia y se pueda determinar su grado. Para calcular la importancia de cada uno de los impactos en función de las características cualitativas con el fin de valorarlos, se define la siguiente fórmula (Tabla 26):

$$Importancia = C (A + M + E + Rv + Rc + Cn + P) \quad (Ec. 1),$$

donde *C* es el carácter (positivo o negativo); *A* es el tipo de acción (directa o indirecta); *M* es el momento (corto, medio o largo plazo); *E* es la cuenca espacial (localizado o extensivo); *Rv* es la reversibilidad (reversible o irreversible); *Rc* es la recuperabilidad (recuperable o irrecuperable); *Cn* es la continuidad (continuo o discontinuo) y *P* es la probabilidad: (desconocido, probable o improbable).

Tabla 26. Valores asignados a las características que definen los impactos estudiados.

Valoración cualitativa de impactos socioeconómicos	
Carácter	Tipo de acción
Positivo: + Negativo: –	Indirecta: 1 Directa: 3
Momento	Cuenca espacial
Corto plazo: 1 Medio plazo: 3 Largo plazo: 5	Localizado: 1 Extensivo: 3
Reversibilidad	Recuperación
Reversible: 1 Irreversible: 3	Recuperable: 1 Irrecuperable: 3
Continuidad	Probabilidad
Discontinuo: 1 Continuo: 3	Desconocido: 1 Improbable: 3 Probable: 5

Para poder analizar y extraer conclusiones a raíz de los resultados expresados por la anterior fórmula, es necesario realizar una normalización, por la cual se obtiene un resultado numérico comprendido entre 0 y 1:

$$Fórmula normalizada = \pm [(Importancia - MÍN) / (MÁX - MÍN)] \quad (Ec. 2),$$

donde el *MÍN* es el mínimo valor obtenido en la valoración; *MÁX* es el máximo valor obtenido en la valoración y la importancia es el resultado obtenido en la valoración de importancia inicial (sin normalizar).

Los valores cualitativos normalizados se clasificarán de la siguiente manera (Tabla 27):

- Compatible: – (0,00–0,25), localizados en un color verde en la tabla. Aquel cuya recuperación es inmediata y no requiere de medidas correctoras ni protectoras.
- Moderados: – (0,26–0,50), localizados en un color amarillo en la tabla. Aquel cuya recuperación no precisa de prácticas correctoras y protectoras intensivas, y a su vez el retorno al estado socioeconómico y/o ambiental inicial se alcance a medio y corto plazo.
- Severos: – (0,51–0,75), localizados en un color naranja en la tabla. Aquel cuya recuperación requiere de medidas correctoras y protectoras, a la vez que su posible retorno al estado inicial se alcanza a medio o largo plazo.
- Críticas: – (0,76–1,00), localizados en un color rojo en la tabla. Aquel cuya magnitud se encuentra por encima del umbral máximo aceptable, por lo que requiere de estrictas medidas correctoras y protectoras. Este tipo de impactos conlleva una

pérdida permanente de las condiciones iniciales, imposibilitando su posible recuperación.

Tabla 27. Detalles de la valoración cualitativa simple.

	Carácter	Tipo de acción	Momento	Espacio	Reversibilidad	Recuperación	Continuidad	Probabilidad	Importancia	Importancia normalizada
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES DEMOGRÁFICOS										
Aumento de la población activa.	+	3	1	3	1	1	1	5	15	0,89
Aumento de la densidad poblacional en zonas rurales y comarcales.	+	3	1	3	1	1	1	5	15	0,89
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES SOCIOCULTURALES										
Rechazo por conflicto con actividad primaria (agricultura, ganadería, etc.).	-	3	1	3	1	1	1	5	-15	-0,11
Beneficio económico del propietario.	+	3	1	1	3	3	1	5	17	0,95
Alteración en el sistema cultural y tradiciones.	-	1	3	3	1	1	1	5	-15	-0,11
Oportunidad para el desarrollo de actividades de ocio.	+	1	1	3	1	1	1	5	13	0,84
Afección de la identidad local.	-	1	3	3	1	1	1	5	-15	-0,11
Pérdida del paisaje tradicional.	-	3	1	1	3	1	3	5	-17	-0,05
Discontinuidad vertical manifiesta.	-	3	1	1	1	1	3	5	-15	-0,11
Rechazo a eliminación de árboles.	-	3	1	3	1	1	1	3	-13	-0,16
IMPACTO SOBRE LOS FACTORES ECONÓMICOS										
Recalificación.	-	3	1	1	3	3	3	5	-19	0,00
Reducción de la productividad agrícola o carga ganadera.	-	3	1	1	3	3	3	5	-19	0,00
Disminución de precio de mercado por aporte de productos forestales.	+	3	5	3	1	1	3	1	17	0,95
Desarrollo del sector secundario debido a la creación de puestos de trabajo.	+	3	1	3	3	1	3	5	19	1,00
Disminución del coste de materia prima por productos forestales.	+	3	5	3	1	1	3	1	17	0,95
Desarrollo del sector servicios debido a la creación de puestos de trabajo.	+	1	3	3	1	1	3	5	17	0,95
IMPACTOS SOBRE LA SALUD Y EL BIENESTAR										
Riesgo de erosión.	-	1	5	1	1	1	1	5	-15	-0,11
Emisión de contaminantes acústicos, lumínicos y gaseosos.	-	3	1	1	1	1	1	5	-13	-0,16
Generación de polvo.	-	3	1	3	1	1	1	5	-15	-0,11
Incremento de la polución.	-	3	1	3	1	1	1	3	-13	-0,16

El resultado de la valoración cualitativa simple es la obtención de 10 impactos compatibles con respecto a la implantación del proyecto. Se recuerda que el desarrollo de la presente metodología es aplicado a un caso hipotético y a modo de ejemplo. En el

caso de que el órgano gestor se vea en la necesidad de aplicarla, los impactos deberán ser identificados y estar adecuadamente ajustados a las fases y subfases particulares del proyecto a aplicar.

Para poder dar puntuaciones al indicador *Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales* se presentarán una serie de enunciados a modo de pregunta. En función del tipo de pregunta, las respuestas serán opciones dicotómicas a modo de Sí/No o respuestas multicotómicas con varias opciones (Tabla 28).

Tabla 28. Enunciados empleados para la valoración ex ante del Indicador 24. Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales.

Primera pregunta	¿El proyecto de absorción de CO ₂ cuenta con una parte de la EIA en el que identifique el grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales? <i>Sí/No/No valorado*</i> .
	En el caso de que la primera pregunta sea afirmativa, continúe para cumplimentar el resto de preguntas.
	En el caso de que la primera pregunta sea negativa, proceda a desarrollar su propia matriz causa-efecto y a determinar el grado de importancia de los impactos del proyecto según la metodología propuesta en el <i>Indicador 24 del Manual Guía</i> .
Segunda pregunta	Una vez identificados los impactos, ¿cuántos de ellos tienen un grado de importancia compatible? <i>Insertar número de impactos</i>
Tercera pregunta	¿Cuántos de ellos tienen un grado de importancia moderado? <i>Insertar número de impactos</i>
Cuarta pregunta	¿Cuántos de ellos tienen un grado de importancia severo? <i>Insertar número de impactos</i>
Quinta pregunta	¿Cuántos de ellos tienen un grado de importancia crítico? <i>Insertar número de impactos</i>
*No valorado es cuando no existe una EIA vigente y no se ha seguido la metodología propuesta.	

Las preguntas 2–5 ofrecen una respuesta para su introducción numérica en función del número de impactos identificado.

Si bien conocer el grado de importancia de los impactos es esencial para poder describir este indicador, el planteamiento de medidas preventivas y/o correctoras que permitan mitigar estos impactos debe ser tenido en cuenta. Así, impactos severos podrían considerarse como moderados o compatibles permitiendo mejorar, gracias a la aplicación de dichas medidas, la calidad final del proyecto. A continuación, se definen los conceptos:

- Impactos residuales: aquellos impactos resultantes de la aplicación de medidas preventivas y/o correctoras cuyo efecto se ha atenuado.
- Medidas preventivas: aquellas que tienen el objetivo de evitar la aparición de efectos negativos antes de que ocurran o mitigar su magnitud.
- Medidas correctoras: acciones destinadas a atenuar, reducir o corregir los impactos negativos que ya se han producido o que son inevitables durante la ejecución del proyecto.

Para ello, se plantean una serie de preguntas que, unidas a las anteriores, permiten conocer los impactos residuales y, por tanto, el impacto real del planteamiento del proyecto en la ubicación deseada (Tabla 28b):

Tabla 28b. Enunciados empleados para la valoración ex ante del Indicador 24. Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales.

Sexta pregunta	¿Se plantean medidas preventivas y/o correctoras sobre los impactos compatibles? <i>Sí/No</i> .
----------------	---

Séptima pregunta	¿Se plantean medidas preventivas y/o correctoras sobre los impactos moderados? <i>Sí/No.</i>
Octava pregunta	¿Se plantean medidas preventivas y/o correctoras sobre los impactos severos? <i>Sí/No.</i>
Noveno pregunta	¿Se plantean medidas preventivas y/o correctoras sobre los impactos críticos? <i>Sí/No.</i>

Aplicación

Las puntuaciones a este indicador serán ofrecidas a partir de la identificación de los impactos socioeconómicos y culturales por la implantación del proyecto y su posterior valoración del grado de importancia, así como de las medidas preventivas y/o correctoras llevadas a cabo.

Este indicador ofrece puntuaciones de biodiversidad *ex ante* puesto que tanto el desarrollo de una matriz causa–efecto como una valoración de impactos quedan integrados como prácticas de la EIA, procedimiento que, por definición, se realiza previamente a la implantación del proyecto. Las puntuaciones para este indicador varían en función del número de impactos identificados y su grado y su valoración cualitativa sigue el siguiente criterio: las peores puntuaciones serán ofrecidas por los proyectos que mayor número de impactos críticos haya obtenido. También, se puntuará de forma positiva las medidas preventivas y/o correctoras que se llevarán a cabo. A medida que aumente la importancia de los impactos mayor será el esfuerzo en la aplicación de medidas preventivas y/o correctoras.

Dentro del CRITERIO 11 de la aplicación/calculadora, se desarrolla el *Indicador 24. Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales*. El órgano gestor encontrará las preguntas desarrolladas en la Tabla 26 y 26b con un desplegable de respuesta en el que aparecen contempladas las opciones Sí y No para las preguntas dicotómicas o una introducción manual numérica. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para las 9 preguntas, de forma automática, se ofrece un valor cualitativo en forma de bueno, regular o pobre para la puntuación de este indicador.

Para la puntuación de este indicador se emplea una metodología aglomerativa que otorga puntuación negativa y positiva sobre una base en función de las respuestas, cuyo valor mínimo será de 0 y máximo de 30.

- Bueno: la puntuación resultante es de 21 a 30 puntos.
- Regular: la puntuación varía de 11 a 20 puntos.
- Pobre: la puntuación se sitúa entre 0 y 10 puntos.

Se recuerda que el empleo de la metodología propuesta en el presente indicador únicamente será aplicable en los casos en los que previamente no se haya realizado un diagnóstico de los impactos del medio socioeconómico y cultural. En el caso de que exista una EIA se deberá responder directamente a las preguntas. Si no se realiza ninguna aproximación hacia la valoración de impactos se deberá seleccionar la opción “No valorado”.

3. Puntuación final de biodiversidad

El objetivo final del presente trabajo es la obtención de una puntuación final de biodiversidad para los proyectos valorados a partir de la integración de las puntuaciones individualizadas de cada indicador.

Para la obtención de la mencionada puntuación final se ha seguido la metodología establecida por Díaz-Balteiro y Romero (2004), definida para la elección de un determinado plan forestal entre n alternativas a partir de la puntuación de indicadores de sostenibilidad.

En concreto, se ha realizado una interpretación y aplicación a este caso concreto de la ecuación relativa al modelo general final (Ecuación 1), sujeta a restricciones de metas (Ecuación 2) y restricción de valores mínimos y máximos (Ecuación 6):

$$\text{Min } (1 - \lambda)D + \lambda \sum_{j=1}^m (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) \quad (\text{Ec. 1}),$$

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} X_i + n_j - p_j = t_j \quad (\text{Ec. 2}),$$

$$(\alpha_j n_j + \beta_j p_j) - D \leq 0 \quad (\text{Ec. 3}),$$

donde X_i es la alternativa de decisión, m son el número de indicadores de cada plan, R_{ij} son los valores de cada indicador en unidades normalizadas, t_j es la meta deseada, n_j es la desviación negativa, p_j es la desviación positiva, α_j y β_j son las ponderaciones de los indicadores, D es la desviación máxima y λ determinada el uso del modelo clásico (minimiza suma total de desviaciones) y el modelo MINMAX (minimiza la peor desviación).

Este modelo pretende la elección del plan forestal que mejor desempeño ofrece en conjunto, comparando objetivos deseables (metas). Esta elección se fundamenta en minimizar la suma total de desviaciones respecto a las metas (evaluación agregada) y minimizar el peor indicador a partir de la mayor desviación (evaluación balanceada).

El modelo es una herramienta para elegir el plan más sostenible según preferencias ajustables. El modelo de selección de un único plan calcula sus desviaciones respecto a cada meta, pondera esas desviaciones según preferencia, controla el equilibrio entre indicadores y permite al usuario mover λ para exigir más balance o más rendimiento total.

Para la aplicación a nuestro caso concreto, partimos de los siguientes supuestos:

- Solo existe un único “plan forestal”. Únicamente se va a evaluar un proyecto cada vez. Por tanto, simplemente se avalúan las desviaciones respecto a las metas. No existe selección binaria, $n = 1$ y $X_i = 1$ (Ecuación 4).

$$R_j + n_j - p_j = 1 \quad (\text{Ec. 4}).$$

- Hay 24 indicadores, de forma que $m = 24$.
- Todos los indicadores se han normalizado entre 0 y 1. Los valores de bueno, malo y regular se han transformado para incluirlos en este rango.
- La meta para todos ellos es 1, es decir, $t_j = 1$ para todo j . La mejor puntuación adquiere el valor de 1.

- Solo se penalizan las desviaciones negativas, partiendo del hecho que los valores más cercanos a 1 son mejores. Por tanto, $\alpha_j > 0$, $\beta_j = 0$ (Ecuación 5).

$$R_j + n_j = 1 ; n_j = 1 - R_j \quad (\text{Ec. 5}).$$

- Se emplea el modelo clásico ($\lambda = 1$) en el que se minimizan el sumatorio de desviaciones. El término de equilibrio desaparece (Ecuación 6).

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{24} (\alpha_j n_j) \quad ; \quad \text{Min} \sum_{j=1}^{24} \alpha_j (1 - R_j) \quad (\text{Ec. 6}).$$

Así, el modelo final completo que se aplica con todos los supuestos que se han integrado es la Ecuación 6, donde las desviaciones negativas (n_j) siempre son mayores o iguales a 0.

Una vez definido el modelo, resulta necesario definir los pesos o ponderaciones (α_j) para cada indicador (Tabla 29) en un rango comprendido entre 0 y 1. El sistema de ponderación aplicado a los indicadores de biodiversidad tiene como objetivo asignar un peso relativo coherente con la función que cada variable desempeña en la resiliencia ecológica, la estabilidad estructural del ecosistema forestal y la capacidad de secuestro de carbono en el contexto de proyectos de absorción de CO₂. La ponderación se fundamenta en criterios ecológicos, funcionales y de riesgo ambiental, priorizando aquellos elementos que determinan la capacidad del bosque para mantener un funcionamiento óptimo ante perturbaciones y presiones climáticas.

En primer lugar, se otorga una ponderación elevada ($\alpha_j = 0,875$) a los indicadores que representan las características físicas, químicas y biológicas (atributos biofísicos) para la estabilidad y funcionalidad del ecosistema, tales como la aridez, la termicidad, los estados erosivos, el riesgo de desertificación, la composición de especies, los índices de diversidad, la diversidad de aves y los rasgos funcionales. Estos factores influyen directamente en la productividad primaria, la retención de carbono, la diversidad funcional y la capacidad del ecosistema para resistir incendios, plagas o eventos climáticos extremos.

En segundo lugar, se asigna una ponderación media ($\alpha_j = 0,500 - 0,625$) a indicadores cuya relación con la biodiversidad y la captación de carbono, si bien relevante, es más indirecta o dependiente de factores de contexto. Entre ellos se encuentran la presencia de especies arbustivas, los modelos de distribución de especies, la fragmentación forestal, los medios acuáticos, la evolución de la superficie forestal, el carbono orgánico del suelo, las zonas protegidas, las prácticas adaptativas y los servicios ecosistémicos. Estos factores influyen en la conectividad ecológica, la multifuncionalidad del territorio y la estabilidad del ciclo del carbono, pero su efecto no es tan determinante como el de los atributos biofísicos prioritarios.

Por último, se establecen ponderaciones bajas ($\alpha_j = 0,125 - 0,375$) para los indicadores de carácter procedimental, administrativo o de gobernanza, como los instrumentos de gestión, la categoría MFR, los certificados forestales, la regeneración, los impactos socioculturales o el éxito del proyecto. Aunque constituyen elementos relevantes para la gestión sostenible, su influencia en la biodiversidad funcional y en la retención efectiva del carbono es indirecta y dependiente de factores externos al funcionamiento ecológico del bosque.

Esta estructura de ponderación permite obtener un índice integral de biodiversidad que prioriza los elementos más determinantes para la resiliencia y capacidad de absorción de CO₂ del ecosistema, garantizando que la evaluación final refleje adecuadamente los riesgos, oportunidades y fortalezas ecológicas del área forestal analizada.

Tabla 29. Ponderaciones o pesos aplicados (α_j) para cada uno de los indicadores para la obtención de la puntuación final de biodiversidad.

Indicador	α_j	Indicador	α_j
1.1. Índice de aridez	0,875	13. Fragmentación forestal	0,625
1.2. Índice de termicidad	0,875	14. Regeneración	0,125
2. Estados erosivos	0,875	15. Carbono orgánico del suelo	0,500
3. Áreas con riesgo de desertificación	0,875	16. Regiones de procedencia	0,375
4. Composición de especies	0,875	17. Categoría MFR	0,125
5. Índices de diversidad	0,875	18. Zonas protegidas	0,500
6. Especies arbustivas	0,625	19. Instrumentos de gestión	0,375
7. Diversidad de aves	0,875	20. Prácticas adaptativas	0,500
8. Estructura vertical	0,500	21. Certificado forestal	0,125
9. Medios acuáticos	0,500	22. Éxito del proyecto	0,375
10. Rasgos funcionales	0,875	23. Indicadores de SSEE	0,625
11. Modelos de distribución	0,625	24. Impactos socioeconómicos y culturales	0,125
12. Evolución de la superficie forestal	0,500		

El modelo de Díaz-Balteiro y Romero (2004) se centra en la puntuación negativa de los indicadores, es decir, cuanto más “pobre” sea la puntuación individual de los indicadores, mayor es la puntuación resultada de la aplicación de la Ecuación 6. Así, para ser conocedores del máximo resultado de esta ecuación y poder realizar un ajuste para ofrecer una puntuación final de biodiversidad sobre 10 puntos máximos, se realiza una simulación para un caso en el que todos los indicadores ofrezcan peores puntuaciones (generalmente resultados “pobres” o “no valora”). Se ha realizado un cómputo adicional, ya que para ciertos indicadores (por ejemplo, *Indicador 3. Áreas con riesgo de desertificación* o *Indicador 11. Modelos de distribución de especies*), los resultados individuales “no valora” no tienen un valor negativo. El valor del sumatorio máximo de la Ecuación 6 resultado de la aplicación de los pesos o ponderaciones definidos en la Tabla 29 y de los peores valores individuales de cada indicador (Ecuación 7) es ajustado a base 10 (Ecuación 8) de manera que fluctúe entre 0 (cuando todos los indicadores toman “bueno”) y 10 (cuando toman “pobre” o “no valora”). Por último, para que la puntuación final de biodiversidad ofrezca un resultado sobre 10 puntos máximos, de manera clásica, es decir, siendo el 10 la mejor puntuación y 0 la peor, resulta necesario que el valor ofrecido por el sumatorio de los indicadores (anteriormente explicado) sea restado a 10 (Ecuación 8).

$$\left(\min \sum_{j=1}^{24} \alpha_j (1 - R_j) \right) = 10,875 \quad (\text{Ec. 7}),$$

$$P. \text{ final de biodiversidad} = 10 - \left(\frac{\left(\min \sum_{j=1}^{24} \alpha_j (1 - R_j) \right) \cdot 10}{\left(\min \sum_{j=1}^{24} \alpha_j (1 - R_j) \right)_{\text{máx}}} \right) \quad (\text{Ec. 8}).$$

De esta manera, los proyectos de biodiversidad que obtengan puntuaciones superiores o iguales a 5 se considerarán aprobadas, mientras que las inferiores deberán calificarse como insuficientes. Así, permite obtenerse una puntuación similar a la obtenida, por regla general, en los sistemas de calificaciones españoles, con un rango de 0 a 10 puntos.

4. Funcionamiento de la calculadora y ejemplo de uso

Una vez descritos todos los indicadores y el contexto del presente documento, el equipo ICIFOR, INIA–CSIC ha desarrollado una aplicación/calculadora bajo el título *Calculadora para la valoración de la biodiversidad de los proyectos de absorción forestal* (<https://saco.csic.es/s/Srr57ZRHZ2kkgkE>). Esta calculadora permite a las personas usuarias u órganos gestores obtener puntuaciones finales de biodiversidad para sus proyectos de absorción de CO₂, obteniendo un valor añadido a las cuantificaciones de las absorciones.



Figura 2. Captura de la Portada de la calculadora de valoración de la biodiversidad.

A partir del desarrollo de la presente aplicación/calculadora las personas usuarias u órganos gestores podrán obtener puntuaciones finales de biodiversidad para las dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de masa forestal tras incendio. Esta calculadora está organizada en 4 pestañas: (1) *Portada*, (2) *1. Descripción general*, (3) *2. Estadillo* y (4) *3. Índices de Diversidad*. Las personas usuarias que empleen la aplicación podrán navegar a través de ella mediante el índice que se encuentra en la parte izquierda de todas las hojas (salvo en la portada), seleccionando con un clic la pestaña que se desee. El botón volver les redirigirá a la Portada (Figura 2), la cual cuenta con un índice propio, también seleccionable con un clic. La otra opción es seleccionar de forma directa la ventana, ubicadas en la parte inferior de todo el Excel (Figura 3).

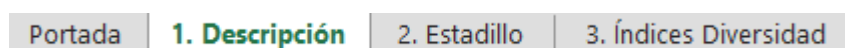


Figura 3. Captura de las pestañas de la calculadora de valoración de la biodiversidad.

En la segunda de las pestañas, referida a *1. Descripción general* se hace una breve descripción de la acción dentro de la cual está enmarcada la aplicación/calculadora

dentro del contexto del proyecto, así como una guía del funcionamiento de la misma (Figura 4).

ÍNDICE VOLVER	1. Descripción general	
	1. Marco del proyecto	2. Fundamentación de la aplicación
1. Descripción general 2. Estadillo 3. Índices de Diversidad	Dentro del proyecto "Mejora de la contribución del sector forestal a la lucha contra el cambio climático (eco2for)" se contempla el desarrollo de metodologías para la cualificación por mejora de biodiversidad de los distintos tipos de proyectos de absorción. A nivel nacional existen dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂ que pueden inscribirse en el Registro de Huella de Carbono y Compensación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de la masa forestal tras incendio. Las metodologías desarrolladas hasta el momento se basan en una cuantificación de las absorciones de CO₂. Si embargo, dichas absorciones se producen dentro de la complejidad característica del bosque/plantación, considerando los diferentes reservorios de carbono existentes (parte aérea y radical, matorral y herbáceas, madera muerta, suelo orgánico y hojarasca), así como otros factores como la variabilidad ambiental, climática y edáfica, la diversidad de especies, la diversidad estructural, etc., que le otorgan un valor añadido. En sentido amplio, una simple cuantificación puede no ser definitoria de forma individual de toda la complejidad de los ecosistemas. Para definir esta complejidad, surge la necesidad de ir más allá de la cuantificación para dar un valor adicional a los proyectos de absorción. Así, el desarrollo de indicadores que recojan aspectos ecológicos, económicos y sociales, así como sus interacciones, pueden resultar de gran utilidad para definir, evaluar y realizar el seguimiento periódico de los objetivos y promover la mejora cuantitativa de los proyectos de absorción, mediante la consideración de su caracterización cualitativa. El objetivo del proyecto es la definición de indicadores para las dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂, centradas en la biodiversidad: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de la masa forestal tras incendio. En este proceso de definición de los indicadores se tendrán en cuenta aspectos sociales, económicos, ambientales, culturales y venturiales involucrando a los diferentes agentes implicados.	A partir del desarrollo de la presente aplicación/calculadora las personas usuarias u órganos gestores podrán obtener puntuaciones finales de biodiversidad para las dos tipologías de proyectos de absorción de CO₂: forestaciones y reforestaciones y restablecimiento de masa forestal tras incendio. Esta calculadora está organizada en 4 pestañas: (1) Portada, (2) 1. Descripción general, (3) 2. Estadillo y (4) 3. Índices de Diversidad. Las personas usuarias que emplean la aplicación podrán navegar a través de ella mediante el índice que se encuentra en la parte izquierda de todas las hojas (salvo en la portada), seleccionando con un click la pestaña que se desee. El botón volver les redirigirá a la Portada, la cual cuenta con un índice propio, también seleccionable con un click. La otra opción es seleccionar de forma directa la ventana, ubicadas en la parte inferior de todo el Excel. Resulta necesario aclarar que la presente calculadora se encuentra íntimamente ligada al documento titulado VALORACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS PROYECTOS DE ABSORCIÓN FORESTAL: CRITERIOS E INDICADORES PARA SU CUALIFICACIÓN, disponibles para el proyecto eco2for. Sin el correcto entendimiento de este documento, el empleo de esta calculadora carece de valor, ya que es creado con el objetivo de servir de documento guía para el adecuado cumplimiento y la correcta obtención de una puntuación final de biodiversidad. En el mencionado documento aparecen detallados la importancia de cada indicador en el contexto de la biodiversidad forestal, cómo se han desarrollado los indicadores, y lo que es más importante, los criterios metodológicos de puntuación de cada indicador. De esta forma, la ventana más relevante y sobre la que se fundamenta la puntuación final de biodiversidad es la de 2. Estadillo. En esta ventana aparecen todos los indicadores desarrollados en documento de valoración, agrupados en sus respectivos criterios. A la derecha de cada indicador, se abre un desplegable con diferentes opciones de respuesta. En el momento de elección de las opciones desplegables, se abre un cuadro emergente explicativo que describe brevemente el criterio de puntuación del indicador. Se vuelve a recordar que todos los detalles metodológicos necesarios para la adecuada cumplimentación de las opciones emergentes de todos los indicadores aparecen en el documento de valoración de la biodiversidad. Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para cada indicador, estos serán puntuados de forma cualitativa en forma de bueno, regular o pobre. Para algunos indicadores, la obtención de puntuación requiere de la respuesta a varios enunciados (por ejemplo, <i>Indicador 10. Rasgos funcionales</i>) y otros, solo cuentan con un enunciado (por ejemplo, <i>Indicador 4. Composición de especies arbóreas</i>).

Figura 4. Captura de la Descripción general de la calculadora de valoración de la biodiversidad.

Resulta necesario aclarar que la presente calculadora se encuentra íntimamente ligada al documento aquí presentado, *Valoración de la biodiversidad de los proyectos de absorción forestal: criterios e indicadores para su cualificación*, disponibles para el proyecto. Sin el correcto entendimiento de este documento, el empleo de esta calculadora carece de valor, ya que es creado con el objetivo de servir de documento guía para el adecuado cumplimiento y la correcta obtención de una puntuación final de biodiversidad. En el mencionado documento aparecen detallados la importancia de cada indicador en el contexto de la biodiversidad forestal, cómo se han desarrollado los indicadores, y lo que es más importante, los criterios metodológicos de puntuación de cada indicador.

De esta forma, la ventana más relevante y sobre la que se fundamenta la puntuación final de biodiversidad es la de 2. *Estadillo* (Figura 5). En esta ventana aparecen todos los indicadores desarrollados en documento de valoración, agrupados en sus respectivos criterios. A la derecha de cada indicador, se abre un desplegable con diferentes opciones de respuesta. En el momento de elección de las opciones desplegables, se abre un cuadro emergente explicativo que describe brevemente el criterio de puntuación del indicador (Figura 5). Se vuelve a recordar que todos los detalles metodológicos necesarios para la adecuada cumplimentación de las opciones emergentes de todos los indicadores aparecen en el documento de valoración de la biodiversidad.

2. Estadillo	
CRITERIO I. Vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático	
1.1 Índice de aridez	C) Valores entre -3,4 y 0
1.2 Índice de termicidad	A) Valores comprendidos entre
CRITERIO II. Erosión y Desertificación	
2.1 Estados erosivos	A) Niveles mayores de 50 T/h
3.1 Áreas con riesgo de desertificación	A) Nivel medio o alto
CRITERIO III. Diversidad de Especies	
4.1 Composición de especies arbóreas	B) Masa mixta con 3 especie o menos
5 Índices de diversidad	Buena
5.1 Índice Shannon	
5.2 Índice Margalef	
6.1 Especies arbustivas de interés	A) Transición hacia estado de evolución más desarrollado

Figura 5. Captura del Estadillo de la calculadora de valoración de la biodiversidad.

Una vez seleccionadas las opciones de respuesta para cada indicador, estos serán puntuados de forma cualitativa en forma de bueno, regular o pobre. Para algunos indicadores, la obtención de puntuación requiere de la respuesta a varios enunciados (por ejemplo, *Indicador 10. Rasgos funcionales*) y otros, solo cuentan con un enunciado (por ejemplo, *Indicador 4. Composición de especies arbóreas*).

La cuarta de las pestañas referida a 3. *Índices de Diversidad* (Figura 6), se crea con el objetivo de facilitar la obtención del índice de Shannon y el índice de Margalef, necesarios para la obtención de la puntuación del Indicador 5. Índices de diversidad. La persona usuaria u órgano gestor deberá introducir de forma manual el número de individuos de cada especie en el momento ex ante y ex post y, de forma automática, se ofrecen los valores del índice de Shannon y el índice de Margalef.

3. Índices de Diversidad																																																																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Ex ante</th> <th>Ex post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Individuos especie A</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie B</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie C</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie D</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie E</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie F</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie G</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie H</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie I</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie J</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie K</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie L</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie M</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie N</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie Ñ</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie O</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie P</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie Q</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie R</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie S</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie T</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie U</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie V</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie W</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie X</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie Y</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Individuos especie Z</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>TOTAL INDIVIDUOS</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Nº. ESPECIES</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>		Ex ante	Ex post	Individuos especie A			Individuos especie B			Individuos especie C			Individuos especie D			Individuos especie E			Individuos especie F			Individuos especie G			Individuos especie H			Individuos especie I			Individuos especie J			Individuos especie K			Individuos especie L			Individuos especie M			Individuos especie N			Individuos especie Ñ			Individuos especie O			Individuos especie P			Individuos especie Q			Individuos especie R			Individuos especie S			Individuos especie T			Individuos especie U			Individuos especie V			Individuos especie W			Individuos especie X			Individuos especie Y			Individuos especie Z			TOTAL INDIVIDUOS	0	0	Nº. ESPECIES	0	0
	Ex ante	Ex post																																																																																									
Individuos especie A																																																																																											
Individuos especie B																																																																																											
Individuos especie C																																																																																											
Individuos especie D																																																																																											
Individuos especie E																																																																																											
Individuos especie F																																																																																											
Individuos especie G																																																																																											
Individuos especie H																																																																																											
Individuos especie I																																																																																											
Individuos especie J																																																																																											
Individuos especie K																																																																																											
Individuos especie L																																																																																											
Individuos especie M																																																																																											
Individuos especie N																																																																																											
Individuos especie Ñ																																																																																											
Individuos especie O																																																																																											
Individuos especie P																																																																																											
Individuos especie Q																																																																																											
Individuos especie R																																																																																											
Individuos especie S																																																																																											
Individuos especie T																																																																																											
Individuos especie U																																																																																											
Individuos especie V																																																																																											
Individuos especie W																																																																																											
Individuos especie X																																																																																											
Individuos especie Y																																																																																											
Individuos especie Z																																																																																											
TOTAL INDIVIDUOS	0	0																																																																																									
Nº. ESPECIES	0	0																																																																																									
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Índice de Shannon</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Índice de Margalef</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Índice de Shannon		Índice de Margalef																																																																																							
Índice de Shannon																																																																																											
Índice de Margalef																																																																																											

Figura 6. Captura del Estadillo del Índice de Diversidad de la aplicación de valoración de la biodiversidad.

Una vez obtenidas las puntuaciones de cada indicador, de forma automática, se obtiene la puntuación final de biodiversidad (sobre un máximo de 10 puntos) del proyecto de absorción de CO₂, en la parte final de la pestaña 2. *Estadillo* (Figura 7).

CRITERIO XII. Valoración Socioeconómica y Cultural		
24 Grado de importancia de los impactos socioeconómicos y culturales		Regular
24.1 Existe EIA	B) No	
24.2 Impactos compatibles	2	
24.3 Impactos moderados	3	
24.4 Impactos severos	18	
24.5 Impactos críticos	15	
24.6 Medidas preventivas compatibles	A) Sí	
24.7 Medidas preventivas moderados	A) Sí	
24.8 Medidas preventivas severos	A) Sí	
24.9 Medidas preventivas críticos	A) Sí	
PUNTUACIÓN FINAL DE BIODIVERSIDAD DEL PROYECTO DE ABSORCIÓN FORESTAL		7.18

Figura 7. Captura de la sección de Puntuación final ubicada en la parte final de la pestaña de Estadillo.

5. Agradecimientos

El proyecto ECO2FOR cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.

6. Referencias

- Ackerly, D. D. y Cornwell, W. K. (2007). A trait-based approach to community assembly: Partitioning of species trait values into within- and among-community components. *Ecology Letters*, 10(2), 135–145.
- AdapteCCa (2024). *Visor de escenarios de cambio climático* [en línea] Disponible en: <<https://escenarios.adaptecca.es/>> [Consultado: 25 de noviembre de 2024].
- Arribas, P.; Abellán, P.; Velasco, J.; Bilton, D. T.; Lobo, J. M.; Millán, A. y Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3) 79–84.
- Austin, M. P. y Van Niel, K. P. (2011). Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of biogeography*, 38(1), 1–8.
- Bosch, J. (2005). *Actuaciones recientes para la conservación de los anfibios de Peñalara*. Madrid: Consejería de Medio Ambiente.
- Canter, L. W. y Echániz, I. S. (1998). *Manual de evaluación de impacto ambiental*. Madrid: McGraw Hill.
- Ceballos, G.; Ehrlich, P. R.; Barnosky, A. D.; García, A.; Pringle, R. M. y Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1.
- Chave, J. (2004). Neutral theory and community ecology. *Ecology Letters*, 7, 241–253.
- CHELSE (2025). *Explore our Datasets* [en línea] Disponible en: <<https://www.chelsa-climate.org/>> [Consultado: 28 de noviembre de 2025]
- Convention on Biological Diversity (2022). *United Nations Biodiversity Conference. COP 15*. [en línea] Disponible en: <<https://www.cbd.int/conferences/2021-2022/cop-15/documents>> [Consultado: 22 de enero de 2025]
- Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (2025). *CORINE Land Cover* [en línea] Disponible en: <<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>> [Consultado: 22 de enero de 2025]
- Cornelissen, J. H. C.; Lavorel, S.; Garnier, E.; Díaz, S.; Buchmann, N.; Gurvich, D. E.; Reich, P. B.; ter Steege, H.; Morgan, H. D.; van der Heijden, M. G. A.; Pausas, J. G. y Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335–380.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press.
- de Heredia, U. L. y Gil, L. (2006). La diversidad en las especies forestales: un cambio de escala. El ejemplo del alcornoque. *Ecosistemas*, 15(2).
- de Martonne, E. (1926). L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français* 3(9) 3–5.
- Degraaf, R. M.; Hestbeck, J.B. y Yamasaki, M. (1998). Associations between breeding bird abundance and stand structure in the White Mountains, New Hampshire and Maine, USA. *Forest Ecology and Management*, 103, 217–233.

- del Río, M.; Montes, F.; Cañellas, I. y Montero, G. (2003). Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales*, 12(1), 159–176.
- del Río, M.; Pretzsch, H.; Alberdl, I.; Bielak, K.; Bravo, F.; Brunner, A.; Condés, S.; Ducey, M. J.; Fonseca, T.; Von Lüpke, N.; Pach, M.; Peric, S.; Perot, T.; Souidi, Z.; Spathelf, P.; Sterba, H.; Tijardovic, M.; Tomé, M.; Vallet, P. y Bravo-Oviedo, A. (2018). Characterization of mixed forests. *Dynamics, silviculture and management of mixed forests*, 27–71.
- Díaz-Balteiro, L. y Romero, C. (2004). Sustainability of forest management plans: a discrete goal programming approach. *Journal of Environmental Management*, 71(4), 351-359.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, *DOCE*, 206, 21 de mayo de 1992. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200>
- ECO2FOR (2024). *Qué es eco2for* [en línea] Disponible en: <<https://eco2for.com/que-es-eco2for/>> [Consultado: 15 de enero de 2025].
- ESRI (2025) *Home* [en línea] Disponible en: <<https://www.esri.es/es-es/home>> [Consultado: 23 de mayo de 2025].
- Fahrig, I.; Arroyo-Rodríguez, V.; Bennett, J. R.; Boucher-Lalonde, V.; Cazetta, E.; Currie, D. J.; Eigenbrod, F.; Ford, A. T.; Harrison, S. P.; Jaeger, J. A. G.; Koper, N.; Martin, A. E.; Martin, J. L.; Metzger, J. P.; Morrison, P.; Rhodes, J. R.; Saunders, D. A.; Simberloff, D.; Smith, A. C.; Tischendorf, L.; Vellend, M. y Watling, J. (2019). Is habitat fragmentation bad for biodiversity? *Biological Conservation*, 230, 179–186.
- FAO (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.
- Forest Certification Assessment Guide (FCAG) (2006). *A framework for assessing credible forest certification systems / schemes*. Washington: FCAG.
- Forest Europe (2020). *State of Europe's Forests*. Bratislava: Forest Europe.
- FSC (2021). *FSC España* [en línea] Disponible en: <<https://www.es.fsc.org/es-es>> [Consultado: 27 de febrero de 2025].
- Gann, G. D. T.; McDonald, B.; Walder, J.; Aronson, C. R.; Nelson, J.; Jonson, J. G.; Hallett, C.; Eisenberg, M. R.; Guariguata, J.; Liu, F.; Hua, C.; Echeverría, E.; Gonzales, N.; Shaw, K.; Decler, M. y Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27, 1–46.
- García-Güemes, C. y Calama, R. (2015). La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*, 12, 501–511.
- García-Morales, R.; Moreno, C. E. y Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: el número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215.

- Garnier, E.; Navas, M. L. y Grigulis, K. (2015). *Plant Functional Diversity: Organism traits, community structure, and ecosystem properties* (First edition). Oxford: Oxford University Press.
- GENCAT. (2023). *Fichas y protocolo del Índice de Biodiversidad Potencial (IBP)* [en línea] Disponible en: <https://cpf.gencat.cat/es/cpf_03_linies_actuacio/cpf_transferencia_coneixement/Index-Biodiversitat-Potencial/documents-i-publicacions-relacionades-amb-libp/Fitxes_i_protocol_IBP/> [Consultado: 28 de agosto de 2025].
- Gibson, L.; Lynam, A. J.; Bradshaw, C. J.; He, F.; Bickford, D. P.; Woodruff, D. S.; Bumrungsri, S. y Laurance, F. L. (2013). Near-complete extinction of native small mammal fauna 25 years after forest fragmentation. *Science*, 341(6153) 1508–1510.
- Gonin P. y Larrieu L. (2023). *Métodos de inventario del Índice de Biodiversidad Potencial (IBP)*. Barcelona.
- Greenwood, J. J. D. (2007). Citizens, science and bird conservation. *Journal of Ornithology*, 148, 77–124.
- Gregory, R. D. y Van Strien, A. (2010). Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measure of environmental health. *Ornithological Science*, 9, 3–22.
- Haddad, N. M.; Brudvig, L. A.; Clobert, J.; Davies, K. F.; Gonzalez, A.; Holt, R. D.; Lovejoy, T. E.; Sexton, J. O.; Austin, M. P.; Collins, C. D.; Cook, W. M.; Damschen, E. I.; Ewers, R. M.; Foster, B. L.; Jenkins, C. N.; King, A. J.; Laurence, W. F.; Levey, D. J.; Margules, C. R.; Melbourne, B. A.; Nicholls, A. O.; Orrock, J. L.; Song, D. X. y Towshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2) e1500052.
- Herrando, S.; Keller, V.; Voříšek, P.; Kipson, M.; Franch, M.; Anton, M.; Pla, M.; Villero, D.; Sierdsema, H.; Kamplicher, C.; Telenský, T.; Gillins, S.; Johnstone, A.; Gottschalk, T.; Guélat, J.; Sattler, T.; Brotons, L.; Titeux, N.; Jiguet, F.; Kéry, M. y Milanese, P. (2017). High resolution maps for the second European Breeding Bird Atlas: a first provision of standardised data and pilot modelled maps. *Vogelwelt*, 137, 33–41.
- IEPNB (2022). *Indicador: Tendencia de las poblaciones de aves comunes*. Madrid: IEPNB.
- IEPNB (2023). *Visor* [en línea] Disponible en: <<https://iepnb.gob.es/visor-bdn/>> [Consultado: 25 de febrero de 2025].
- INIA (2017). *Visualizador de la distribución de especies forestales en España y sus regiones de procedencia* [en línea] Disponible en: <https://www.inia.es/serviciosyrecursos/recursosdocumentales/visualizadores_cartograficos/visorcomparativodistribucionespeciesforestales/Paginas/Home.aspx> [Consultado: 25 de febrero de 2025].
- INIA (2022). *Visor del contenido de C acumulado en el horizonte orgánico y en el suelo en la Península Ibérica y Baleares* [en línea] Disponible en: https://www.inia.es/serviciosyrecursos/recursosdocumentales/visualizadores_cartograficos/visordecarbono/Paginas/Home.aspx [Consultado: 5 de septiembre de 2025]
- Instituto Tecnológico Agrario (ITA) (2019). *Mapa de erosión laminar y en regueros*. Valladolid: ITA.

- Intergovernmental Panel ON Climate Change (IPPC) (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPPC.
- Intergovernmental Panel ON Climate Change (IPPC) (2021). *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: IPPC.
- Keeley, J. E. y Pausas, J. G. (2022). Evolutionary ecology of fire. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 53(1), 203–225.
- Lal, R. (2008). Sequestration of atmospheric CO₂ in global carbón pools. *Energy and Environmental Science* 1(1) 86–100.
- Lambers, H.; Chapin, I. F. S.; Chapin, F. S. y Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Springer: Nueva York.
- Lavorel, S. y Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16, 545–556.
- Ley 11/1994, de 27 de diciembre, De Espacios Naturales Protegidos De La Comunidad Valenciana. *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 2423, de 9 de enero de 1995. <https://www.boe.es/eli/es-vc/l/1994/12/27/11/con>
- Ley 12/1985, de 13 de junio, De Espacios Naturales. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 556, de 28 de junio de 1985. <https://www.boe.es/eli/es-ct/l/1985/06/13/12/con>
- Ley 16/1995, de 4 de mayo, Forestal y De Protección De La Naturaleza De La Comunidad De Madrid. *Boletín Oficial De La Comunidad De Madrid*, 127, de 30 de mayo de 1995. <https://www.boe.es/eli/es-md/l/1995/05/04/16/con>
- Ley 2/1989, de 18 de julio, Por La Que Se Aprueba El Inventario De Espacios Naturales Protegidos De Andalucía y Se Establecen Medidas Adicionales Para Su Protección. *Boletín Oficial De La Junta De Andalucía*, 201, de 27 de julio de 1989. <https://www.boe.es/eli/es-an/l/1989/07/18/2/con>
- Ley 2/2023, de 31 de enero, De Biodiversidad Y Patrimonio Natural De La Rioja. *Boletín Oficial de La Rioja*, 27, de 8 de febrero de 2023. <https://www.boe.es/eli/es-ri/l/2023/01/31/2/con>
- Ley 4/1992, de 30 de julio, De Ordenación y Protección Del Territorio De La Región De Murcia. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 189, de 14 de agosto de 1992. <https://www.boe.es/eli/es-mc/l/1992/07/30/4/con>
- Ley 4/2006, de 19 de mayo, De Conservación De La Naturaleza De Cantabria. *Boletín Oficial de Cantabria*, 105, de 1 de junio de 2006. <https://www.boe.es/eli/es-cb/l/2006/05/19/4/con>
- Ley 4/2015, de 24 de marzo, Del Patrimonio Natural De Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, 61, de 30 de marzo de 2015. <https://www.boe.es/eli/es-cl/l/2015/03/24/4/con>
- Ley 4/2017, de 13 de julio, Del Suelo y De Los Espacios Naturales Protegidos De Canarias. *Boletín Oficial de Canarias*, 138, de 19 de julio de 2017. <https://www.boe.es/eli/es-cn/l/2017/07/13/4/con>

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, Del Patrimonio Natural y De La Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado*, 299, de 14 de diciembre de 2007. <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/12/13/42/con>
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, De Montes. *Boletín Oficial del Estado*, 280, de 22 de noviembre de 2003. <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/21/43/con>
- Ley 5/1991, de 5 de abril, De Protección De Los Espacios Naturales. *Boletín Oficial del Principado de Asturias*, 87, de 17 de abril de 1991. <https://www.boe.es/eli/es-as/l/1991/04/05/5/con>
- Ley 5/2005, de 26 de mayo, Para La Conservación De Los Espacios De Relevancia Ambiental (LECO). *Boletín Oficial de las Islas Baleares*, 85, de 4 de junio de 2005. <https://www.boe.es/eli/es-ib/l/2005/05/26/5/con>
- Ley 5/2019, de 2 de agosto, Del Patrimonio Natural y De La Biodiversidad De Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, 149, de 7 de agosto de 2019. <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2019/08/02/5/con>
- Ley 8/1998, de 26 de junio, De Conservación De La Naturaleza y De Espacios Naturales De Extremadura. *Diario Oficial de Extremadura*, 86, de 28 de julio de 1998. <https://www.boe.es/eli/es-ex/l/1998/06/26/8/con>
- Ley 9/1999, de 26 de mayo, De Conservación De La Naturaleza. *Diario Oficial de Castilla-La Mancha*, 40, de 12 de junio de 1999. <https://www.boe.es/eli/es-cm/l/1999/05/26/9/con>
- Ley 9/2021, de 25 de noviembre, De Conservación Del Patrimonio Natural De Euskadi. *Boletín Oficial del País Vasco*, 246, de 10 de diciembre de 2021. <https://www.boe.es/eli/es-pv/l/2021/11/25/9/con>
- Ley Foral 9/1996, de 17 de junio, De Espacios Naturales De Navarra. *Boletín Oficial de Navarra*, 78, de 28 de junio de 1996. <https://www.boe.es/eli/es-nc/lf/1996/06/17/9/con>
- Linder, M. y Calama, R. (2013). Climate change and the need for adaptation in Mediterranean forest. *Mediterranean forest management under the new context of climate change*, 13–28.
- López-iglesias, B.; Villar, R. y Poorter, L. (2014). Functional traits predict drought performance and distribution of Mediterranean woody species. *Acta Oecologica*, 56, 10–18.
- Luvai, A.; Obiero, J. y Omuto, C. (2022). Soil loss assessment using the revised universal soil loss equation (RUSLE) model. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 2122554.
- Macarthur, R. M. y Macarthur J. W. (1961). On bird species diversity. *Ecology*, 42, 594–598.
- Maclaurin, J. y K. Sterelny. (2008). *What is biodiversity?* Chicago: The University of Chicago Press.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton: Princeton University Press.
- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71.

- Markesteyn, L. (2010). *Drought tolerant of tropical tree species. Functional traits, trade-offs and species distribution*. Tesis doctoral. Wageningen: Wageningen University.
- MARM (2008). *Programa de Acción Nacional contra la Desertificación*. Madrid: MARM.
- McDowell, N.; Pockman, W. T.; Allen, C. D.; Breshears, D. D.; Cobb, N.; Kolb, T.; Plaut, J.; Sperry, J.; West, A.; Williams, D. G. y Yepez, E. A. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. *New phytologist*, 178(4), 719–739.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2003). *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press.
- MITECO (2020a). *Mapa de estados erosivos* [en línea] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mapas_estados_erosivos.html [Consultado: 19 de febrero de 2025].
- MITECO (2020b). *Descarga de la cartografía del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES)* [en línea] Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-nacional-erosion-suelos/descarga_ines.html [Consultado 19 de febrero de 2025].
- MITECO (2022a). *Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación*. Madrid: MITECO.
- MITECO (2022b). *Inventario nacional de erosión de suelos*. Madrid: MITECO.
- MITECO (2022c). *Mapa del carbono orgánico del suelo en España. Estimación a partir de los datos del Inventario Nacional de Erosión de Suelos*. Madrid: MITECO.
- MITECO (2022d). *Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad Indicador: Espacios Naturales Protegidos por categoría UICN*. Madrid: MAPAMA.
- MITECO (2022e). *Certificación forestal* [en línea] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/internacional-especies-madera/madera-legal/sistema/certificacion-forestal.html> [Consultado: 27 de febrero de 2025].
- MITECO (2023a). *Metodologías para la estimación de la Reducción de Emisiones de los Proyectos Clima (calculo ex - ante)* [en línea] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/fondo-carbono/metodologias.html> [Consultado: 10 de enero de 2025].
- MITECO (2023b). *Espacios protegidos* [en línea] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos.html> [Consultado: 25 de noviembre de 2024].
- MITECO (2024a). *Comercio de derechos de emisión* [en línea] Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/mrva-instalaciones.html> [Consultado: 10 de enero de 2025].
- MITECO. (2024b). *Información sobre la sección de proyectos de absorción de dióxido de carbono. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*. Madrid: MITECO.

- MITECO. 2021. *Fondo de Carbono FES-CO2. Proyectos Clima* [en línea] Disponible en: <<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/fondo-carbono/proyectos-clima/que-es-un-proyecto-clima.html>> [consulta: 15 de enero de 2025].
- Mola, I. (2018). *Guía Práctica de Restauración Ecológica*. Madrid: Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica.
- Mola, I. (2024). *Restauración Ecológica: ejemplos de bases técnicas y soluciones prácticas*. Madrid: Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.
- Mononen, L.; Auvinen, A. P.; Ahokumpu, A. L.; Rönkä, M.; Aarras, N.; Tolvanen, H.; Kamppinen, M.; Viirret, E.; Kumpula, T. y Vihervaara, P. (2016). National ecosystem service indicators: Measures of social-ecological sustainability. *Ecological Indicators*, 61, 27-37.
- Montori, A.; Llorente, G. A.; Carretero, M. A. M.; Santos, X.; Richter-Boix, A.; Franch, M. y Garriga, N. (2007). *Bases para la gestión forestal en relación con la herpetofauna. Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal*, 275-335.
- Morin, P. J. (2011). *Community ecology*. Estados Unidos: Wiley Blackwell.
- Murdoch, W. W.; Evans, F. C. y Peterson, C. H. (1972). Diversity and pattern in plants and insects. *Ecology*, 53(5), 819-829.
- Naeem, S. y Wright, J. P. (2003). Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions into a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, 6, 567-579.
- Nock, C. A.; Vogt, R. J. y Beisner, B. E. (2016). *Functional Traits*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Núñez Manso, Y.; Ramos, R.; Calama, R. y Pardos, M. (2025). Índice de aridez de De Martonne e índice de termicidad compensado de Rivas Martínez en España: desarrollo de visores cartográficos online. *Foresta*, 93, 80-86.
- ONU (1994) *Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África*. París: ONU.
- Pardo, M. (1994). El impacto social en las evaluaciones de impacto ambiental: su conceptualización y práctica. *Reis*, 141-167.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 37, 637-669.
- PEFC (2020). *Certifícate* [en línea] Disponible en: <<https://www.pefc.es/que-puedes-hacer/certificate>> [Consultado: 27 de febrero de 2025].
- Pérez-Luque, A. J.; Barea-Azcón, J. M.; Aspizua, R.; Cano-Manuel, F. J. y Zamora, R. (2021). *Los robledales de Sierra Nevada: Valoración de servicios ecosistémicos y recomendaciones de gestión*. Madrid: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.
- Quero, J. L.; Gómez-Aparicio, L.; Zamora, R. y Maestre, F. T. (2008). Shifts in the regeneration niche of an endangered tree (*Acer opalus ssp. granatense*) during

ontogeny: using an ecological concept for application. *Basic and Applied Ecology*, 9, 635–644.

Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, Por El Que Se Crea El Registro De Huella De Carbono, Compensación Y Proyectos De Absorción De Dióxido De Carbono. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de marzo de 2014, núm. 77, pp. 27437 a 27452.

Real Decreto 289/2003, de 7 de marzo, Sobre Comercialización De Los Materiales Forestales De Reproducción. *Boletín Oficial del Estado*, 58, de 08 de marzo de 2003. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/03/07/289/con>

Reglamento (UE) 2024/1991 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de junio de 2024, Relativo A La Restauración De La Naturaleza y Por El Que Se Modifica El Reglamento (UE) 2022/869. *Diario Oficial de la Unión Europea, Serie L, de 29 de julio de 2024*. <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj>

Rivas–Martínez, S. (1987). *Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Roces–Díaz, J. V.; Vayreda, J.; Banqué–Casanovas, M.; Cusó, M.; Anton, M.; Bonet, J. A.; de Cáceres M.; Herrando, S.; Martínez de Aragón, J.; de–Miguel, M. y Martínez–Vilalta, J. (2018). Assessing the distribution of forest ecosystem services in a highly populated Mediterranean region. *Ecological Indicators*, 93, 986–997.

Sala, O. E.; Chapin, F. S.; Armesto J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber–Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D. M.; Mooney, H. A.; Oesterheld, M.; Leroy Poff, N.; Sykes, M. T.; Walker, B. H.; Walker, M. y Wall, D. H. (2000). Biodiversity – global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770–1774.

San Miguel, A. (2009). *Los pastos de la Comunidad de Madrid. Tipología, Cartografía y Evaluación*. Madrid: Serie Técnica de Medio Ambiente nº 4.

San Miguel, A. (2020) *Matorrales de España* [en línea] Disponible en <<https://youtu.be/Y2ypoe7nWHQ>> [Consultado: 08 de octubre de 2025].

San Miguel, A. (2023). *Pastos naturales herbáceos de España*. Madrid: Sociedad Española de Pastos.

Sánchez–Gómez, D.; Zavala, M. A. y Valladares, F. (2008). Functional traits and plasticity linked to seedlings' performance under shade and drought in Mediterranean woody species. *Annals of Forest Science*, 65(3), 1.

SEO/BirdLife (2022a). *Guía de aves*. [en línea] Disponible en < <https://seo.org/guia-de-aves/> > [Consultado: 2 de septiembre de 2025]

SEO/BirdLife (2022b). *SACRE* [en línea] Disponible en <<https://seo.org/sacre/>> [Consultado: 02 de septiembre de 2025]

SEO/BirdLife (2023). *Programas de seguimiento y grupos de trabajo de SEO/BirdLife 2022*. Madrid: SEO/BirdLife.

Serrada, R. (2003). Regeneración natural; situaciones, concepto, factores y evaluación. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 15, 11 –15.

Serrada, R. (2008). *Apuntes de selvicultura*. Madrid: EUIT.

Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.

- Smith, T. M. y Smith, R. L. 2007. *Ecología*. Madrid: Pearson Educación.
- Society for Ecological Restoration (SER) (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. Florida. Estados Unidos: SER.
- Tiemann, A. y Ring, I. (2022). Towards ecosystem service assessment: developing biophysical indicators for forest ecosystem services. *Ecological Indicators*, 137, 13.
- Tíscar, P. A.; García–Abril, A. D.; Aguilar, M.; Solís, A.; Herrero, A. y Zavala, M. A. (2015). *Gestión Forestal Próxima a la Naturaleza: potencialidades y principios para su aplicación en los pinares de montaña mediterráneos como medida de adaptación al cambio climático. Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Madrid: MAPAMA.
- UVa (2018). *Cambium* [en línea] Disponible en: <https://portaldelaciencia.UVa.es/grupos/10966/detalle> [Consultado: 28 de noviembre de 2025]
- Valladares, F. y Niinemets, Ü. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237–257.
- Valladares, F. y Sánchez–Gómez, D. (2006). Ecophysiological traits associated with drought in Mediterranean tree seedlings: individual responses versus interspecific trends in eleven species. *Plant Biology*, 8, 688–697.
- Villar, R.; López–Iglesias, B.; Ruiz–Benito, P.; Zavala, M. A. y de la Riva, E. G. (2014). Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. *Ecosistemas*, 23(2), 64–72.
- Villéger, S.; Miranda, J. R.; Hernández, D. F. y Mouillot, D. (2010). Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20, 1512–1522.
- Vogt, P.; Riitters, K. H.; Caudullo, G. y Eckhardt, B. (2019). *FAO – State of the World's Forests: Forest Fragmentation. Algorithm Technical Basis Document (ATBD)*. Roma: FAO.
- Walters, M. B. y Reichy, P. B. (1999). Low–light carbon balance and shade tolerance in the seedlings of woody plants: do winter deciduous and broad–leaved evergreen species differ? *New Phytol*, 143, 143–154.
- Weber J. (2000). *Geostatistische Analyse der Struktur von Waldbeständen am Beispiel ausgewählter Bannwälder in Baden–Württemberg*. Freiburg: Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 20. FVA Baden–Wurttemberg.
- WWF (2019). *Arde el Mediterráneo. Propuesta mediterránea de WWF para la prevención de incendios forestales*. Madrid: WWF España.
- WWF (2022). *España se seca: la Península Ibérica es la región europea que sufrirá una mayor desertificación* [en línea] Disponible en: <https://www.wwf.es/?61061/Espana-se-seca-la-Peninsula-Iberica-es-la-region-europea-que-sufrira-una-mayor-desertificacion> [Consultado: 06 de enero de 2025].

Xie, G.; Li, W.; Xiao, Y.; Zhang, B.; Lu, C.; An, K.; Wang, J.; Xu, K. y Wang, J. (2010). Forest ecosystem services and their values in Beijing. *Chinese Geographical Science*, 20(1), 51–58.