



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



OVIHUEC.DAT

**Caracterización de la gestión forestal e impulso socioeconómico en zonas de montaña
mediante un rebaño comunal en un entorno digital**

5.4.1.1

MODELO ACTUALIZADO DE BIODIVERSIDAD

Convocatoria de ayudas de la Fundación Biodiversidad, en régimen de concurrencia competitiva, para apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica (regulada por la Orden TED/1014/2021, de 20 de septiembre, y por la Orden TED/408/2023, de 24 de abril, que modifica la anterior) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia – Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU para el ejercicio del 2023

IRTA R
Instituto
de Investigación y Tecnología
Agroalimentarias



Información del documento

Número de informe	5.4.1.1
Nombre del informe	Modelo actualizado de biodiversidad
Descripción del informe	Informe de formación y divulgación sobre nuevos indicadores de biodiversidad para ACV
Objetivo	Objetivo 5 - Ambiente
Actividad	A5.4 Impacto y beneficios de la actividad silvopastoril sobre la biodiversidad
Entidad coordinadora de la actividad	IRTA
Entidades participantes de la actividad	CTFC y Conselh Generau d'Aran
Palabras clave	Ganadería, Análisis de Ciclo de Vida, incendios forestales, biodiversidad
Autores	Renata Martins Pacheco, Miquel Andón, Ariadna Ballegra, Nuria Martínez, Víctor Rancaño, Marta Ruiz-Colmenero, Montserrat Núñez, Ralph Rosenbaum
Colaboradores	
Aprobado por	Antoni Dalmau Bueno

Advertencia:

Este documento es propiedad de los miembros que conforman el proyecto OVIHUEC.DAT. No está permitida su copia o distribución en ningún caso sin el consentimiento previo de los propietarios de este, quienes tienen los derechos de autor del presente escrito.

Parte de la convocatoria de la Fundación Biodiversidad y financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU. Sin embargo, las opiniones y visiones expresadas son de los autores del documento y no representan necesariamente las de los entes convocantes y financieros. Por lo tanto, ni la Unión Europea ni la entidad convocante pueden ser responsabilizadas por estas.



CONTENIDO

1.	Introducción.....	6
1.1.	Contexto	6
1.2.	Objetivo	6
1.3.	Estructura del informe.....	7
2.	Biodiversidad y su importancia.....	8
2.1.	¿Que es biodiversidad?	8
2.2.	Impacto de los incendios extremos sobre la biodiversidad	9
2.3.	El pastoreo extensivo y la biodiversidad	10
3.	Métodos de medición de la biodiversidad	12
4.	Biodiversidad en el Analisis de Ciclo de Vida.....	14
4.1.	Limitaciones y futuros trabajos	16
5.	Conclusiones	18
6.	Referencias	19
	ANEXO	27



GLOSARIO

ACV (LCA): Análisis de Ciclo de Vida.

- Metodología que evalúa las cargas ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia.

ADN: Ácido Desoxirribonucleico.

- Molécula con instrucciones genéticas que puede verse afectada por impactos de toxicidad o radiación.

AME: Abundancia Media de Especies.

- Indicador que mide la integridad de la biodiversidad comparando la abundancia de especies nativas actuales frente a su estado natural.

EACV (LCIA): Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

- Fase donde los datos del inventario se traducen en puntuaciones de impacto ambiental.

FPD: Fracción Potencialmente Desaparecida.

- Indicador que mide el porcentaje de especies con riesgo de desaparecer en un ecosistema.

GLAM: Global Guidance on LCA Indicators and Methods. Iniciativa global que busca armonizar y crear consenso sobre los mejores indicadores de impacto ambiental.

GLOBIO: Modelo utilizado específicamente para evaluar los impactos de las actividades humanas sobre la biodiversidad terrestre a escala global.

Impact World+: Método de alcance mundial que integra impactos regionalizados para mejorar la precisión de los resultados.

LC-IMPACT: Marco de evaluación global (UE) que proporciona factores de caracterización con alta resolución espacial.

ReCiPe: Método de EACV que evalúa impactos tanto en puntos medios (cambio climático) como finales (daños a la salud).

UE: Unión Europea.

- Organización que establece estándares y recomendaciones para los métodos de evaluación ambiental entre otros.



RESUMEN EJECUTIVO

La biodiversidad es la variedad de vida en la Tierra y actúa como el motor que mantiene los procesos esenciales para nuestra supervivencia, tales como la polinización de cultivos, la purificación del agua y la regulación del clima. Sin ecosistemas diversos, perdemos la capacidad de adaptarnos a crisis ambientales, lo que pone en riesgo directo nuestra salud y la seguridad alimentaria global. Protegerla no es solo un deber ético, sino una estrategia económica y social fundamental, ya que muchas comunidades dependen de estos recursos naturales para su sustento diario.

Actualmente, la biodiversidad de un lugar se mide a través de diversos indicadores, como el número de especies en una zona o la salud genética de las poblaciones. Sin embargo, herramientas de evaluación de impacto ambiental, como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), intentan ir más allá al calcular cómo las actividades económicas impactan en el consumo de recursos o contaminan un lugar del mundo, y cómo esto afecta a la biodiversidad.

Los incendios forestales extremos, intensificados por el cambio climático, son una de las mayores amenazas actuales a la biodiversidad, ya que destruyen poblaciones animales y vegetales de forma inmediata y alteran la recuperación natural de los bosques. En contraste, la ganadería extensiva o el pastoreo bien gestionado surge como una solución clave: al consumir la vegetación seca que sirve de combustible, los animales crean "cortafuegos biológicos". Esto no solo reduce la intensidad de los incendios, sino que mantiene paisajes abiertos que favorecen la convivencia de más especies.

Actualmente, hay muchos desarrollos tecnológicos y metodológicos que nos permiten conocer más y monitorear la biodiversidad y los impactos de las actividades humanas, como la ganadería, sobre ella. Invertir en estos estudios permite que la población comprenda mejor su entorno y que las empresas e instituciones puedan tomar decisiones basadas en datos reales. Además, mejorar estas evaluaciones es vital para diseñar políticas públicas que realmente protejan el territorio y aseguren que podamos seguir produciendo alimentos de forma sostenible.

Finalmente, integrar la biodiversidad en las políticas de gestión del territorio permite valorar actividades tradicionales, como el pastoreo en zonas de montaña, transformándolas en pilares de una nueva bioeconomía. Al fortalecer la conexión entre la ciencia ambiental y la toma de decisiones políticas, garantizamos una soberanía alimentaria basada en paisajes resilientes y comunidades rurales activas que cuidan de nuestro patrimonio natural.

Mensaje central: El cambio climático y los incendios extremos representan graves amenazas para la biodiversidad, la cual es fundamental para la vida humana. El uso de herramientas científicas modernas para medirla, junto con el apoyo a actividades sostenibles como la ganadería extensiva, resulta esencial para proteger nuestra salud, la economía y el futuro del suministro de alimentos.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

La biodiversidad sustenta una amplia gama de procesos ecosistémicos esenciales para la vida en la Tierra y para el bienestar humano. Estos procesos incluyen la polinización, la regulación del clima, la purificación del agua y el reciclaje de nutrientes, todos ellos fundamentales para la producción de alimentos, la salud y la estabilidad ambiental. Sin esta diversidad biológica, la naturaleza perdería capacidad de adaptación frente a perturbaciones, lo que comprometería directamente la seguridad alimentaria, la salud y la economía global (Díaz, 2023; IPBES, 2019).

Sin embargo, las actividades humanas —como la deforestación, la agricultura intensiva, la contaminación, la sobreexplotación de recursos y el cambio climático— están perjudicando la biodiversidad a un ritmo sin precedentes. Esta pérdida no solo implica la desaparición de especies, sino también la alteración de funciones ambientales importantes, lo que puede generar impactos inesperados en múltiples sistemas naturales y en los servicios ecosistémicos (beneficios de la naturaleza para los humanos) que sostienen la vida humana (PNUMA, 2020).

Calcular el daño que causamos a la naturaleza no es tarea fácil. Aún se debate cuál es la mejor manera de incluir la protección de los animales y las plantas en los estudios ambientales que se hacen a nivel mundial. Aunque ya existen formas de medir cómo el uso de la tierra afecta a las especies, todavía falta un sistema único y sencillo que todos puedan usar. Proyectos actuales están creando nuevas fórmulas para que, cuando analicemos el impacto de un producto o actividad con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), podamos ver claramente cuánto afecta a la biodiversidad. Esto ayuda a unir la ciencia de la ecología con el mundo de los negocios y la sostenibilidad.

1.2. OBJETIVO

Este proyecto, OVIHUEC.DAT, tiene como objetivo principal la creación de un rebaño en Vilamòs, localidad del Val d'Aran, y abarca diversos ámbitos de trabajo. Entre ellos destaca el desarrollo de una metodología para cuantificar los beneficios ambientales, es decir, los servicios ecosistémicos del pastoreo en el marco del ACV.

Los cambios sociales y económicos asociados al cambio climático están impulsando un éxodo rural, un fenómeno observado en muchas regiones de Europa, incluidos los Pirineos. En este contexto, resulta fundamental encontrar nuevas formas de valorizar actividades tradicionales como el pastoreo, integrándolas en modelos económicos multifuncionales que contribuyan al cuidado del paisaje y la biodiversidad.



Por ello, esta subacción (5.4.1.1) tiene como objetivo revisar la importancia de la biodiversidad para la estabilidad de los procesos ecosistémicos y analizar cómo estas consideraciones se incorporan en el ACV, identificando además las lagunas de conocimiento que aún persisten.

1.3. ESTRUCTURA DEL INFORME

El presente informe se estructurará de la siguiente manera: comenzaremos con una breve introducción sobre el objetivo, para luego presentar la biodiversidad y su importancia. A continuación, expondremos los métodos existentes para medirla y cómo el ACV la incorpora tradicionalmente, señalando sus limitaciones. Finalmente, haremos consideraciones sobre lo que esto implica en el contexto de la ganadería.



2. BIODIVERSIDAD Y SU IMPORTANCIA

2.1. ¿QUE ES BIODIVERSIDAD?

Proteger la biodiversidad es esencial para la estabilidad de los ecosistemas, el bienestar humano y el desarrollo sostenible. La biodiversidad —la variedad de vida en la Tierra— sustenta la salud y la resiliencia de los ecosistemas, apoya servicios vitales para la humanidad y es crucial para la sostenibilidad a largo plazo. Sin ella, los sistemas naturales pierden capacidad de adaptación y se incrementa la vulnerabilidad frente a crisis ambientales y sociales (Corlett, 2020; Sekhar et al., 2024).

La biodiversidad mantiene funciones ambientales fundamentales, como la polinización, la regulación climática, la purificación del agua y la fertilidad del suelo. Estos procesos son indispensables para la seguridad alimentaria, la limpieza del aire y del agua, y la salud humana. Sin estos servicios de la naturaleza, la producción agrícola, la disponibilidad de agua potable y la estabilidad climática se verían gravemente comprometidas (Blicharska et al., 2019; Corlett, 2020; Isbell et al., 2017; Sekhar et al., 2024). Además, la naturaleza con gran variedad de especies aguanta mejor las crisis, como el cambio climático o las enfermedades. Al recuperarse más rápido de estos problemas, nos ayuda a vivir mejor y de forma más segura (Mao et al., 2021).

El valor económico, social y cultural de la biodiversidad es incuestionable. Proporciona beneficios directos a través de la agricultura, la medicina, el turismo y otras industrias, siendo una fuente de ingresos y empleo para millones de personas. Muchas comunidades, especialmente las más frágiles, dependen de la biodiversidad para su sustento diario (Doley & Barman, 2023; Hanley & Perrings, 2019). Aparte del dinero, la naturaleza es valiosa por sí misma y por nuestra cultura. Tenemos el deber ético de cuidarla para que las generaciones futuras también puedan disfrutarla (Raven & Wackernagel, 2020; Uwingabire et al., 2025).

La protección de la biodiversidad contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, no solo en el ámbito ambiental, sino también en los objetivos sociales y económicos (Blicharska et al., 2019; Niesenbaum, 2019). Contar con mucha variedad de animales y plantas ayuda a que la naturaleza y las personas trabajen mejor juntas. Esto nos da beneficios ambientales y económicos que nos preparan mejor para enfrentar problemas mundiales, como el cambio climático (Kremen & Merenlender, 2018; Mao et al., 2021).

La desaparición de especies es un problema sin vuelta atrás que amenaza la estabilidad del planeta. Si no lo frenamos, podríamos perder servicios naturales vitales y enfrentarnos a una gran extinción masiva (Corlett, 2020; Mokany et al., 2019; Raven & Wackernagel, 2020). Estos daños no solo afectan a la naturaleza, sino que también golpean nuestra economía, nuestra salud y nuestra capacidad de producir alimentos, creando problemas mundiales muy difíciles de solucionar. Proteger la biodiversidad es, en realidad, asegurar que la vida pueda seguir



existiendo en el futuro. Si cuidamos la variedad de especies y sus genes, garantizamos que el planeta pueda adaptarse a nuevos desafíos, como enfermedades desconocidas o cambios muy bruscos en el clima(Gliessman, 2022; Sarrazin & Lecomte, 2016). En este sentido, la conservación no es solo una cuestión ambiental, sino una estrategia esencial para proteger los sistemas naturales y humanos en el largo plazo.

2.2. IMPACTO DE LOS INCENDIOS EXTREMOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD

Los incendios forestales extremos suelen dañar la variedad de vida silvestre, sobre todo cuando son muy seguidos y violentos. Aunque el fuego es parte de la naturaleza, los incendios actuales —causados por el cambio climático y el descuido del campo— son tan fuertes que muchas especies no logran sobrevivir ni adaptarse. Estos incendios no solo destruyen el paisaje, sino que alteran cómo funciona la naturaleza, y sus efectos pueden durar muchísimos años (Driscoll et al., 2024; Kelly et al., 2020).

Las pérdidas directas e indirectas son uno de los impactos más evidentes. Los incendios forestales extremos provocan un descenso inmediato en las poblaciones de plantas y animales, especialmente en zonas con incendios frecuentes o recientes, muy fuertes o durante períodos de sequía. (Driscoll et al., 2024; Nimmo et al., 2022). Además, los incendios muy fuertes, aunque duren poco tiempo, pueden reducir el número de especies para siempre. Al destruir las semillas guardadas en la tierra y las plantas pequeñas, el bosque pierde su capacidad de recuperarse y muchas especies locales corren el riesgo de desaparecer. (Duivenvoorden et al., 2024; Geraskina et al., 2021; Volkova et al., 2025).

Otro efecto grave es que cambia el tipo de animales y plantas que viven en el lugar. Los incendios suelen favorecer a las especies que crecen rápido o a las invasoras, mientras que perjudican a las especies más delicadas o a las que necesitan un hogar muy específico para sobrevivir (Burkle et al., 2015; Trotta et al., 2024). A veces, el fuego puede ayudar a crear diferentes tipos de paisajes, como un mosaico de zonas variadas. Sin embargo, los incendios muy graves suelen hacer que todo el terreno se vuelva igual y que, al final, haya menos variedad de vida en general (He et al., 2019; Richter et al., 2019). Estos cambios alteran las interacciones ecológicas y pueden afectar la estabilidad del ecosistema.

La función y recuperación del ecosistema también se ven comprometidas. La pérdida de biodiversidad por incendios extremos altera funciones ambientales esenciales como el ciclo de nutrientes, la polinización y la provisión de hábitat (Gajendiran et al., 2023; Geraskina et al., 2021). La recuperación depende de la severidad del incendio, la condición previa del ecosistema y el tiempo transcurrido desde el evento. Algunos sistemas pueden recuperar diversidad en décadas, mientras que otros experimentan pérdidas persistentes o transiciones hacia nuevos estados ecológicos, con menor funcionalidad y resiliencia (Bashirzadeh et al., 2023; Heim et al., 2021; Volkova et al., 2025).



El impacto del fuego depende de cada lugar: en zonas acostumbradas a él, los incendios suaves pueden incluso favorecer la biodiversidad. El problema son los incendios actuales, que al ser más potentes y descontrolados por el cambio climático, destruyen el equilibrio de la naturaleza y superan su capacidad para recuperarse. (Harrison et al., 2021; Kelly et al., 2020). La frecuencia y severidad fuera de los rangos históricos rompe los ciclos naturales y reduce la capacidad de regeneración, incrementando la fragilidad frente a nuevas perturbaciones (He et al., 2019).

Controlar el fuego de forma responsable es clave para reducir daños. A diferencia de los incendios extremos que todo lo destruyen, el uso de quemas controladas, como las prácticas indígenas, o el pastoreo ayudan a que la naturaleza sea más fuerte y haya más variedad de vida (Hoffman et al., 2021; Kelly et al., 2020). Unir la sabiduría tradicional con la ciencia permite planificar incendios controlados que protegen el funcionamiento de la naturaleza. Esto reduce los peligros y ayuda a que el entorno se adapte mejor a los cambios del clima.

2.3. EL PASTOREO EXTENSIVO Y LA BIODIVERSIDAD

El pastoreo extensivo puede desempeñar un papel clave en la protección de la biodiversidad frente a incendios forestales extremos, siempre que se gestione adecuadamente. Este enfoque contribuye a reducir las cargas de combustible (vegetación), fragmentar la vegetación continua y mantener hábitats diversos, lo que disminuye la probabilidad de incendios catastróficos y favorece la protección de los ecosistemas (Celaya et al., 2022; Lovreglio et al., 2024). Además, el pastoreo se integra como una herramienta de manejo sostenible que complementa otras estrategias de prevención de incendios, especialmente en paisajes mediterráneos y zonas propensas a sequías prolongadas.

Uno de los mecanismos más importantes es la reducción de la carga de combustible. Los animales de pastoreo consumen hierbas, arbustos y otros combustibles finos, disminuyendo la cantidad y continuidad de vegetación inflamable. Esta reducción tiene efectos directos sobre la fuerza de los incendios, la altura de las llamas y la velocidad de propagación, haciendo que los fuegos sean menos severos y más manejables (Celaya et al., 2022; Davies et al., 2015, 2016; Lovreglio et al., 2024; Ratcliff et al., 2022; Schachtschneider et al., 2024). En este sentido, el pastoreo se convierte en una herramienta preventiva que reduce riesgos sin necesidad de intervenciones con máquinas costosas.

El pastoreo también contribuye a la creación de cortafuegos naturales. Las áreas pastadas actúan como barreras que interrumpen la continuidad del combustible, limitando la propagación del fuego a través del paisaje. Estos cortafuegos “biológicos” no solo protegen la biodiversidad, sino también infraestructuras y recursos humanos, ofreciendo una solución integrada y basada en la naturaleza que combina producción ganadera con gestión del riesgo (Celaya et al., 2022; Huntsinger & Barry, 2021; Lovreglio et al., 2024). Esta función es especialmente relevante en regiones donde los incendios forestales son recurrentes y las medidas convencionales resultan insuficientes.

5.4.1.1 NUEVOS INDICADORES DE BIODIVERSIDAD PARA ACVs



Los efectos sobre la biodiversidad son generalmente positivos cuando el pastoreo se gestiona de forma adecuada. El pastoreo moderado o extensivo puede aumentar la riqueza de especies vegetales y la diversidad funcional, evitando la dominancia de unas pocas especies y manteniendo la heterogeneidad del hábitat (Durigan et al., 2022; Ribeiro et al., 2023; Silva et al., 2019).

Sin embargo, es fundamental evitar el sobrepastoreo y la mala gestión. Una presión excesiva puede degradar la calidad del suelo, reducir la cobertura vegetal autóctona y afectar negativamente a la biodiversidad. La elección de la especie de ganado, la intensidad del pastoreo y el momento adecuado son factores críticos para maximizar los beneficios y minimizar los impactos negativos (Lovreglio et al., 2024; Ribeiro et al., 2023; Stavi, 2019). Por ello, el pastoreo debe considerarse dentro de planes integrales de manejo adaptativo que equilibren la producción ganadera con la conservación y la prevención de incendios.



3. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La medición de la biodiversidad es un componente esencial en las ciencias ambientales, ya que proporciona información crítica para la conservación, la gestión de ecosistemas y la formulación de políticas. Sin embargo, no existe un método universalmente aceptado para evaluar la biodiversidad, debido a su complejidad. En lugar de una única métrica, se emplea una combinación de enfoques que captan diferentes aspectos, como la riqueza de especies, la diversidad funcional y la estructura genética, cada uno con ventajas y limitaciones (Battista et al., 2016; Morris et al., 2014; Sîrbu et al., 2025).

Los métodos tradicionales incluyen la riqueza y abundancia de especies, que consiste en contar el número de especies y de sus individuos respectivos. Este enfoque es simple y ampliamente utilizado, pero no refleja la diversidad funcional ni genética, y puede ser insensible a cambios en la composición de la comunidad (Hillebrand et al., 2018; Morris et al., 2014; Seymour et al., 2021). Para superar estas limitaciones, se emplean índices de diversidad como Shannon, Simpson o Berger-Parker, que combinan riqueza y uniformidad. No obstante, estos índices son sensibles al tamaño de la muestra y pueden pasar por alto especies raras, lo que introduce sesgos en la interpretación (Battista et al., 2016; Bollarapu et al., 2024).

Otros enfoques avanzados incluyen la diversidad funcional y filogenética, que evalúan la variación en rasgos ecológicos y la historia evolutiva de las especies. Estos métodos son fundamentales para comprender procesos ecosistémicos y resiliencia, pero requieren grandes volúmenes de datos y análisis complejos (Battista et al., 2016; Sîrbu et al., 2025). Asimismo, la diversidad beta, que mide la rotación compositiva entre sitios o tiempos, es clave para estudios de conectividad y dinámica espacial, aunque exige muestreos extensos y estandarizados (Mächler et al., 2019; Rocchini et al., 2018).

Las tecnologías emergentes están transformando la medición de la biodiversidad. El ADN ambiental (eADN) permite detectar especies a partir de material genético presente en agua, suelo o aire, ofreciendo encuestas no invasivas y de gran alcance. Sin embargo, enfrenta desafíos como errores de detección, asignación taxonómica y limitaciones en la resolución espacial y temporal (Beng & Corlett, 2020; Rodríguez-Ezpeleta et al., 2021; Ruppert et al., 2019; Thomsen & Willerslev, 2015). De forma complementaria, la teledetección y el aprendizaje automático aplicados a imágenes satelitales y variables ambientales permiten inferir patrones de biodiversidad en grandes áreas, aunque dependen de datos masivos y presentan problemas de interpretabilidad (Chang, 2023; Rocchini et al., 2018).

Los principales desafíos persisten en la integración y estandarización de datos. No existe una métrica universal que abarque todas las dimensiones de la biodiversidad, y combinar índices puede dificultar la comunicación y la traducción en políticas (Battista et al., 2016; Strange et al., 2024). Además, los métodos requieren recursos significativos, capacidades tecnológicas y análisis avanzados, lo que limita su aplicación en regiones con menos infraestructura

5.4.1.1 NUEVOS INDICADORES DE BIODIVERSIDAD PARA ACVs



científica. El desajuste entre métricas científicas y necesidades políticas también puede conducir a decisiones que infravaloren la biodiversidad (Strange et al., 2024).



4. BIODIVERSIDAD EN EL ANALISIS DE CICLO DE VIDA

Los modelos de biodiversidad en el ACV son herramientas esenciales para evaluar los impactos de productos, procesos, servicios, organizaciones y territorios sobre la biodiversidad a lo largo de su ciclo de vida o para organizaciones y territorios en todas sus actividades. Estos modelos permiten cuantificar cómo factores como el uso de recursos naturales como el suelo y el agua, el cambio climático y la contaminación afectan la integridad de los ecosistemas y las especies. Aunque los modelos más consolidados se centran en indicadores como la riqueza de especies, la abundancia media y la calidad del ecosistema, no existe un modelo único que abarque todas las dimensiones de la biodiversidad, lo que genera desafíos metodológicos y de interpretación (Sanyé-Mengual et al., 2023; Song et al., 2025).

La medición de la biodiversidad y los indicadores relacionados, como se mencionó en el apartado anterior, se centran en la medición de impactos en receptores claramente identificados (o al menos identificables por observación) y suelen utilizarse con un alcance geográfico limitado. Al contrario, el ACV se centra en las diversas causas de los daños a la biodiversidad y los mecanismos de causa-efecto relacionados. Para el ciclo de vida promedio de un producto o el conjunto de actividades de una organización, estas causas suelen estar distribuidas por todo el planeta y afectan a la biodiversidad de diferentes maneras y en diferentes ubicaciones a nivel mundial. El ACV pretende rastrear los posibles impactos sobre la biodiversidad desde sus múltiples causas dentro del ciclo de vida de un producto o el ámbito de influencia (alcance) de las actividades de una organización hasta la cuantificación de sus posibles daños. Por lo tanto, el punto de partida no es la medición de los cambios locales en la biodiversidad en una ubicación determinada, que suelen ser consecuencia de múltiples causas, tanto locales (p. ej., uso del suelo y el agua) como remotas (p. ej., contaminación). Si no, se trata de la cuantificación de todas las emisiones y usos de recursos relevantes que eventualmente afectan a la biodiversidad, seguida de la cuantificación de su daño potencial sobre la biodiversidad, distinguiendo idealmente entre la biodiversidad de agua dulce, marina y terrestre. Este enfoque requiere la distinción entre el daño a la biodiversidad global y local. El primero describe pérdidas no reversibles, por ejemplo, en el caso de especies endémicas, cuando una repoblación no puede ocurrir, mientras que el segundo se refiere a daños que afectan al ecosistema local, pero con potencial de repoblación y pérdida no permanente o solo al nivel local.

Una perspectiva de creciente relevancia para la contabilidad de la biodiversidad, además de las aplicaciones clásicas del ACV, es la cuantificación y el seguimiento de indicadores de biodiversidad para mecanismos financieros, como los mercados voluntarios (y en un futuro más lejano, quizás incluso obligatorios) de créditos de naturaleza, bonos verdes, inversiones verdes (p. ej., la taxonomía de la UE) o incentivos directos positivos (p. ej., créditos fiscales o subvenciones) y negativos (p. ej., multas). En general, los métodos y perspectivas de contabilidad de los impactos sobre la biodiversidad basados en el ACV y centrados en el origen



de las causas, permiten una mejor integración de los aspectos de la biodiversidad en los procesos de decisión.

Entre los modelos más utilizados se encuentra ReCiPe, que emplea la fracción potencialmente desaparecida de especies (FPD) terrestres, marinas y de agua dulce como indicador final, considerando impactos del uso del suelo, consumo de agua, cambio climático, formación de ozono fotoquímico, eutroficación, acidificación y ecotoxicidad como categorías de impacto. Este enfoque es ampliamente aplicado en evaluaciones globales y regionales, pero se centra en la pérdida de especies, dejando fuera aspectos funcionales y genéticos (Chaplin-Kramer et al., 2017; Souza et al., 2014). De manera similar, LC-IMPACT, Impact World+ y GLAM integran las mismas categorías de impacto. En el caso de los últimos dos, que son los modelos más recientes y actualizados, la lista se ha ampliado por el impacto de plásticos, polución térmica del agua, radiación ionizante, y pesca, utilizando tanto FPD como la abundancia media de especies (AME), lo que permite una visión más completa de la integridad ecológica en cadenas de suministro globales (Sanyé-Mengual et al., 2023; Song et al., 2025).

Otros enfoques incluyen modelos basados en GLOBIO, que utilizan la AME para evaluar la integridad del ecosistema, especialmente en relación con el uso del suelo. Estos modelos son útiles para estudios globales, pero presentan limitaciones en la cobertura taxonómica y en la consideración de factores como especies invasoras o sobreexplotación (Chaplin-Kramer et al., 2017; Crenna et al., 2020). También existen métodos basados en la distancia al objetivo (político) y no en mecanismos ambientales como Escasez Ecológica 2013, que incorpora la calidad y escasez de los ecosistemas, aunque su aplicación es más restringida a contextos regionales, como Europa (Sanyé-Mengual et al., 2023).

Enfoques emergentes buscan superar estas limitaciones mediante la incorporación de diversidad funcional y servicios ecosistémicos. Modelos que integran rasgos funcionales de plantas y animales permiten evaluar no solo la pérdida de especies, sino también el impacto sobre procesos ecológicos clave. Sin embargo, estos métodos aún son incipientes en el ACV y requieren grandes volúmenes de datos y análisis complejos (Lindner et al., 2019; Scherer et al., 2020). Asimismo, sistemas expertos basados en puntuaciones derivadas de especialistas se aplican en agricultura y paisajes, pero su subjetividad y falta de estandarización limitan su uso generalizado (Jeanneret et al., 2014; Zhen et al., 2025).

Los principales desafíos incluyen la falta de consenso y la cobertura limitada de los modelos actuales. La mayoría se centra en indicadores basados en especies, dejando fuera dimensiones críticas como la diversidad genética y estructural (Curran et al., 2011; Lindner et al., 2019). Además, los modelos tienden a abordar solo ciertos factores de presión, como el uso de recursos naturales, la polución y el cambio climático, omitiendo otros como especies invasoras, fragmentación de paisajes y sobreexplotación (Song et al., 2025). Las brechas geográficas y taxonómicas también restringen la aplicabilidad global, y la ausencia de un



marco armonizado dificulta la integración de resultados en políticas y estrategias de conservación (Crenna et al., 2020; Sanyé-Mengual et al., 2023).

Los modelos de biodiversidad en ACV, como ReCiPe, LC-IMPACT, Impact World+, GLAM y GLOBIO, han avanzado en la incorporación de indicadores clave para evaluar impactos sobre la biodiversidad, pero siguen enfrentando limitaciones significativas en alcance, cobertura y complejidad. La falta de consenso y la necesidad de integrar dimensiones funcionales, genéticas y de servicios ecosistémicos subrayan la urgencia de desarrollar enfoques más holísticos y armonizados. La innovación metodológica y la colaboración interdisciplinaria serán esenciales para garantizar evaluaciones robustas que apoyen decisiones sostenibles y efectivas en la gestión del ciclo de vida (Lindner et al., 2019; Sanyé-Mengual et al., 2023; Song et al., 2025).

4.1. LIMITACIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Integrar la biodiversidad en el ACV es esencial para comprender los impactos ambientales de productos, procesos, servicios, organizaciones y territorios, pero este objetivo enfrenta importantes desafíos conceptuales, metodológicos y prácticos. A pesar de los avances en la incorporación de indicadores ecológicos, la complejidad inherente a la biodiversidad y la falta de consenso sobre métricas universales dificultan su integración efectiva en los modelos de ACV (Crenna et al., 2020; Curran et al., 2011; Winter et al., 2017).

Uno de los principales retos son las lagunas conceptuales y metodológicas. La mayoría de los modelos actuales se centran en la riqueza o abundancia de especies, dejando de lado dimensiones críticas como la diversidad funcional, genética y ecosistémica que son esenciales para la resiliencia ecológica (Curran et al., 2011; Souza et al., 2014; Winter et al., 2017). Además, los métodos tienden a considerar solo ciertos factores de presión —uso del suelo, cambio climático y contaminación— mientras omiten otros como especies invasoras, sobreexplotación, ruido y luz artificial, que también afectan significativamente la biodiversidad (Bergman et al., 2024; Préat et al., 2021; Woods et al., 2016). La falta de precisión en los mapas y el desconocimiento de muchas especies impiden medir bien el impacto real en cada lugar. (Chaplin-Kramer et al., 2017; Teixeira et al., 2016).

La falta de datos fiables es un gran problema. Todavía no conocemos bien la biodiversidad de muchas zonas del planeta ni de muchas especies, lo que genera mucha inseguridad al tomar decisiones. (Bromwich et al., 2025; Song et al., 2025). Además, los resultados del ACV se ven afectados por múltiples fuentes de incertidumbre: epistémicas, paramétricas, de medición y lingüísticas, así como por la variabilidad natural y decisiones subjetivas en la selección de modelos (Lindner et al., 2019; Woods et al., 2016). Estas limitaciones reducen la confianza en las evaluaciones y dificultan la comparación entre estudios.

Las barreras operativas y prácticas también son significativas. Debido a su enfoque global, los modelos simplifican en exceso las interacciones ecológicas, sin capturar la complejidad de



las respuestas de biodiversidad frente a presiones humanas (Teillard et al., 2016). La falta de estandarización en indicadores y metodologías genera resultados inconsistentes y complica la armonización entre estudios (Curran et al., 2011; Winter et al., 2017). Además, la cobertura limitada de sistemas marinos y acuáticos es una brecha importante, ya que la mayoría de los métodos se desarrollan para entornos terrestres, dejando de lado impactos en ecosistemas acuáticos (Bergman et al., 2024; Woods et al., 2016).

Otro desafío clave es la relevancia en políticas y toma de decisiones. Los resultados del ACV pueden no alinearse con las prioridades políticas o de conservación, que tienden a tener un enfoque nacional o regional omitiendo riesgos de fuga de impactos (transposición geográfica), y la complejidad técnica de los indicadores dificulta su interpretación por parte de los responsables de políticas (Crenna et al., 2020; Lindner et al., 2019). Esto genera un desajuste entre la ciencia y la práctica, afectando el uso del ACV como herramienta para orientar estrategias sostenibles y decisiones basadas en evidencia.

Los principales retos para incluir la biodiversidad en el ACV abarcan desde limitaciones conceptuales y metodológicas hasta problemas de datos, incertidumbre y falta de estandarización. La biodiversidad no es un atributo único, sino una combinación de dimensiones (especies, genes, funciones y ecosistemas) que interactúan en escalas espaciales y temporales diversas, lo que dificulta su representación en modelos integrados y, por lo tanto, simplificados (Crenna et al., 2020; Curran et al., 2011; Winter et al., 2017). Superar estas barreras requiere innovación metodológica, desarrollo de indicadores más integrales, mejora en la recopilación y accesibilidad de datos y una integración más estrecha con la ciencia ecológica y los marcos políticos. Solo mediante enfoques holísticos y colaborativos será posible garantizar que el ACV refleje adecuadamente la complejidad de la biodiversidad y apoye decisiones efectivas para su conservación (Crenna et al., 2020; Curran et al., 2011; Song et al., 2025).



5. CONCLUSIONES

La biodiversidad es un pilar fundamental para la estabilidad de los ecosistemas y el bienestar humano. Su conservación no solo garantiza la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación climática, la fertilidad del suelo y la polinización, sino que también sostiene la resiliencia frente a perturbaciones ambientales. En un contexto de cambio climático y aumento de eventos extremos, proteger la biodiversidad se convierte en una prioridad estratégica para asegurar la sostenibilidad ecológica y económica a largo plazo.

Entre las amenazas más críticas se encuentran los incendios forestales extremos, que destruyen hábitats y aceleran la pérdida de especies. El manejo del paisaje mediante prácticas sostenibles, como el pastoreo extensivo, puede desempeñar un papel clave en la reducción del riesgo de incendios. Al disminuir la carga de combustible, crear cortafuegos naturales y mantener hábitats abiertos y heterogéneos, la ganadería extensiva contribuye tanto a la prevención de incendios como a la conservación de la biodiversidad, siempre que se gestione adecuadamente para evitar impactos negativos.

Por ello, es importante profundizar en el estudio de las interacciones entre la ganadería extensiva y los ecosistemas, dado que este conocimiento es clave para comprender sus efectos sobre la biodiversidad y la resiliencia del paisaje. Avanzar en esta línea no solo permitirá mejorar la formación y el aprendizaje de los profesionales del sector, sino también dotar a los tomadores de decisiones de herramientas sólidas para diseñar políticas basadas en evidencia científica. Este conocimiento contribuirá, además, al desarrollo y perfeccionamiento del ACV, para reconocer los beneficios multifuncionales del pastoreo extensivo. Incorporar métricas que reflejen su contribución a la biodiversidad y a la resiliencia del paisaje permitirá fundamentar políticas públicas que promuevan estas prácticas sostenibles. Un enfoque integrado que combine ciencia, gestión y gobernanza es clave para garantizar que la ganadería extensiva sea valorada no solo por su producción, sino también por su papel en la mitigación de riesgos y la conservación de ecosistemas.



6. REFERENCIAS

- Bashirzadeh, M., Abedi, M., Shefferson, R., & Farzam, M. (2023). Post-Fire Recovery of Plant Biodiversity Changes Depending on Time Intervals since Last Fire in Semiarid Shrublands. *Fire*. <https://doi.org/10.3390/fire6030103>
- Battista, T., Fortuna, F., & Maturo, F. (2016). Environmental monitoring through functional biodiversity tools. *Ecological Indicators*, 60, 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.056>
- Beng, K., & Corlett, R. (2020). Applications of environmental DNA (eDNA) in ecology and conservation: opportunities, challenges and prospects. *Biodiversity and Conservation*, 29, 2089–2121. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01980-0>
- Bergman, K., Gröndahl, F., Hasselström, L., Strand, Å., Thomas, J.-B., & Hornborg, S. (2024). Integrating biodiversity impacts into seafood life cycle assessments: pathways for improvement. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02414-7>
- Blicharska, M., Smithers, R., Mikusiński, G., Rönnbäck, P., Harrison, P., Nilsson, M., & Sutherland, W. (2019). Biodiversity's contributions to sustainable development. *Nature Sustainability*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0417-9>
- Bollarapu, M. J., Kuchibhotla, S., Kvsn, R., & Patel, H. (2024). Dynamic perspectives on biodiversity quantification: beyond conventional metrics. *PeerJ*, 12. <https://doi.org/10.7717/peerj.17924>
- Bromwich, T., White, T., Bouchez, A., Hawkins, I., Ermgassen, S. Z., Bull, J., Bartlett, H., Bennun, L., Biggs, E., Booth, H., Clark, M., Geneidy, S. El, Prescott, G., Sonter, L., Starkey, M., & Milner-Gulland, E. (2025). Navigating uncertainty in life cycle assessment-based approaches to biodiversity footprinting. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.70001>
- Burkle, L., Myers, J., & Belote, R. (2015). Wildfire disturbance and productivity as drivers of plant species diversity across spatial scales. *Ecosphere*, 6, 1–14. <https://doi.org/10.1890/es15-00438.1>
- Celaya, R., Ferreira, L., Lorenzo, J., Echegaray, N., Crecente, S., Serrano, E., & Busqué, J. (2022). Livestock Management for the Delivery of Ecosystem Services in Fire-Prone Shrublands of Atlantic Iberia. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14052775>
- Chang, J. (2023). Biodiversity estimation by environment drivers using machine/deep learning for ecological management. *Ecol. Informatics*, 78, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102319>



Chaplin-Kramer, R., Sim, S., Hamel, P., Bryant, B., Noe, R., Mueller, C., Rigarlsford, G., Kulak, M., Kowal, V., Sharp, R., Clavreul, J., Price, E., Polasky, S., Ruckelshaus, M., & Daily, G. (2017). Life cycle assessment needs predictive spatial modelling for biodiversity and ecosystem services. *Nature Communications*, 8.

<https://doi.org/10.1038/ncomms15065>

Corlett, R. (2020). Safeguarding our future by protecting biodiversity. *Plant Diversity*, 42, 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.04.002>

Crenna, E., Marques, A., La Notte, A., & Sala, S. (2020). Biodiversity assessment of value chains: state of the art and emerging challenges. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05153>

Curran, M., De Baan, L., De Schryver, A., Van Zelm, R., Hellweg, S., Koellner, T., Sonnemann, G., & Huijbregts, M. (2011). Toward meaningful end points of biodiversity in life cycle assessment. *Environmental Science & Technology*, 45 1, 70–79. <https://doi.org/10.1021/es101444k>

Davies, K., Boyd, C., Bates, J., & Hulet, A. (2015). Dormant season grazing may decrease wildfire probability by increasing fuel moisture and reducing fuel amount and continuity. *International Journal of Wildland Fire*, 24, 849–856.

<https://doi.org/10.1071/wf14209>

Davies, K., Boyd, C., Bates, J., & Hulet, A. (2016). Winter grazing can reduce wildfire size, intensity and behaviour in a shrub-grassland. *International Journal of Wildland Fire*, 25, 191–199. <https://doi.org/10.1071/wf15055>

Díaz, S. ; et al. (2023). Assessing biodiversity and ecosystem services in a changing world. *Science*. <https://www.science.org/doi/reader/10.1126/science.adn3441>

Doley, D. M., & Barman, P. (2023). Importance of communicating biodiversity for sustainable wildlife management: a review. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13412-023-00819-8>

Driscoll, D., Macdonald, K., Gibson, R., Doherty, T., Nimmo, D., Nolan, R., Ritchie, E., Williamson, G., Heard, G., Tasker, E., Bilney, R., Porch, N., Collett, R., Crates, R., Hewitt, A., Pendall, E., Boer, M., Gates, J., Boulton, R., ... Phillips, R. (2024). Biodiversity impacts of the 2019–2020 Australian megafires. *Nature*, 635, 898–905. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08174-6>

Duivenvoorden, E., Wagner, B., Nitschke, C., & Kasel, S. (2024). Short-interval, high-severity wildfires cause declines in soil seed bank diversity in montane forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121627>



Durigan, G., Pilon, N., Souza, F., Melo, A., Ré, D. S., & Souza, S. C. P. M. (2022). Low-intensity cattle grazing is better than cattle exclusion to drive secondary savannas toward the features of native Cerrado vegetation. *Biotropica*, 54, 789–800. <https://doi.org/10.1111/btp.13105>

Gajendiran, K., Kandasamy, S., & Narayanan, M. (2023). Influences of wildfire on the forest ecosystem and climate change: A comprehensive study. *Environmental Research*, 117537. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117537>

Geraskina, A., Tebenkova, D., Ershov, D., Ruchinskaya, E., Sibirtseva, N., & Lukina, N. (2021). WILDFIRES AS A FACTOR OF THE LOSS OF BIODIVERSITY AND FUNCTIONS OF FOREST ECOSYSTEMS. *FOREST SCIENCE ISSUES*. <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202142-11>

Glissman, S. (2022). Why is ecological diversity important? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46, 329–330. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2032513>

Hanley, N., & Perrings, C. (2019). The Economic Value of Biodiversity. *Annual Review of Resource Economics*. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093946>

Harrison, S., Prentice, I., Bloomfield, K., Dong, N., Forkel, M., Forrest, M., Ningthoujam, R., Pellegrini, A., Shen, Y., Baudena, M., Cardoso, A., Huss, J., Joshi, J., Oliveras, I., Pausas, J., & Simpson, K. (2021). Understanding and modelling wildfire regimes: an ecological perspective. *Environmental Research Letters*, 16. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac39be>

He, T., Lamont, B., & Pausas, J. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>

Heim, R., Heim, W., Bültmann, H., Kamp, J., Rieker, D., Yurtaev, A., & Hözel, N. (2021). Fire disturbance promotes biodiversity of plants, lichens and birds in the Siberian subarctic tundra. *Global Change Biology*, 28, 1048–1062. <https://doi.org/10.1111/gcb.15963>

Hillebrand, H., Blasius, B., Borer, E., Chase, J., Downing, J., Eriksson, B., Filstrup, C., Harpole, W., Hodapp, D., Larsen, S., Lewandowska, A., Seabloom, E., Waal, D., & Ryabov, A. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: Consequences for conservation and monitoring. *Journal of Applied Ecology*, 55, 169–184. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12959>

Hoffman, K., Davis, E., Wickham, S., Schang, K., Johnson, A., Larking, T., Lauriault, P., Le, N. Q., Swerdfager, E., & Trant, A. (2021). Conservation of Earth's biodiversity is embedded in Indigenous fire stewardship. *Proceedings of the National Academy of*



- Sciences of the United States of America*, 118.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2105073118>
- Huntsinger, L., & Barry, S. (2021). *Grazing in California's Mediterranean Multi-Firescapes*. 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.715366>
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*.
<https://www.ipbes.net/ipbes-global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>
- Isbell, F., Gonzalez, A., Loreau, M., Cowles, J., Díaz, S., Hector, A., Mace, G., Wardle, D., O'Connor, M., Duffy, E., Turnbull, L., Thompson, P., & Larigauderie, A. (2017). Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. *Nature*, 546, 65–72. <https://doi.org/10.1038/nature22899>
- Jeanneret, P., Baumgartner, D., Knuchel, R., Koch, B., & Gaillard, G. (2014). An expert system for integrating biodiversity into agricultural life-cycle assessment. *Ecological Indicators*, 46, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.030>
- Kelly, L., Giljohann, K., Duane, A., Aquilué, N., Archibald, S., Batllori, E., Bennett, A., Buckland, S., Canelles, Q., Clarke, M., Fortin, M., Hermoso, V., Herrando, S., Keane, R., Lake, F., McCarthy, M., Morán-Ordóñez, A., Parr, C., Pausas, J., ... Brotóns, L. (2020). Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, 370. <https://doi.org/10.1126/science.abb0355>
- Kremen, C., & Merenlender, A. (2018). Landscapes that work for biodiversity and people. *Science*, 362. <https://doi.org/10.1126/science.aau6020>
- Lindner, J., Fehrenbach, H., Winter, L., Bloemer, J., & Knuepffer, E. (2019). Valuing Biodiversity in Life Cycle Impact Assessment. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11205628>
- Lovreglio, R., Lovreglio, J., Satta, G., Mura, M., & Pulina, A. (2024). Assessing the Role of Forest Grazing in Reducing Fire Severity: A Mitigation Strategy. *Fire*. <https://doi.org/10.3390/fire7110409>
- Mächler, E., Little, C., Wüthrich, R., Alther, R., Fronhofer, E., Gounand, I., Harvey, E., Hürlemann, S., Walser, J., & Altermatt, F. (2019). Assessing different components of diversity across a river network using eDNA. *Environmental DNA*. <https://doi.org/10.1002/edn.3.33>
- Maier, S., Lindner, J., & Francisco, J. (2019). Conceptual Framework for Biodiversity Assessments in Global Value Chains. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11071841>



Mao, Z., Centanni, J., Pommereau, F., Stokes, A., & Gaucherel, C. (2021). Maintaining biodiversity promotes the multifunctionality of social-ecological systems: holistic modelling of a mountain system. *Ecosystem Services*.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101220>

Mokany, K., Ferrier, S., Harwood, T., Ware, C., Di Marco, M., Grantham, H., Venter, O., Hoskins, A., & Watson, J. (2019). Reconciling global priorities for conserving biodiversity habitat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 9906–9911. <https://doi.org/10.1073/pnas.1918373117>

Morris, E., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4, 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>

Niesenbaum, R. (2019). The Integration of Conservation, Biodiversity, and Sustainability. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su11174676>

Nimmo, D., Andersen, A., Archibald, S., Boer, M., Brotóns, L., Parr, C., & Tingley, M. (2022). Fire ecology for the 21st century: Conserving biodiversity in the age of megafire. *Diversity and Distributions*, 28. <https://doi.org/10.1111/ddi.13482>

PNUMA. (2020). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-6)*.
<https://www.unep.org/es/resources/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-6>

Préat, N., Lefaible, N., Alvarenga, R., Taelman, S., & Dewulf, J. (2021). Development of a life cycle impact assessment framework accounting for biodiversity in deep seafloor ecosystems: A case study on the Clarion Clipperton Fracture Zone. *The Science of the Total Environment*, 770, 144747.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144747>

Ratcliff, F., Rao, D., Barry, S., Dewees, S., Macaulay, L., Larsen, R., Shapero, M., Peterson, R., Moritz, M., & Forero, L. (2022). Cattle grazing reduces fuel and leads to more manageable fire behavior. *California Agriculture*.
<https://doi.org/10.3733/ca.2022a0011>

Raven, P., & Wackernagel, M. (2020). Maintaining biodiversity will define our long-term success. *Plant Diversity*, 42, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.06.002>

Ribeiro, I., Domingos, T., McCracken, D., & Proença, V. (2023). The use of domestic herbivores for ecosystem management in Mediterranean landscapes. *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02577>



- Richter, C., Rejmánek, M., Miller, J., Welch, K., Weeks, J., & Safford, H. (2019). The species diversity × fire severity relationship is hump-shaped in semiarid yellow pine and mixed conifer forests. *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2882>
- Rocchini, D., Luque, S., Pettorelli, N., Bastin, L., Doktor, D., Faedi, N., Feilhauer, H., Féret, J., Foody, G., Gavish, Y., Godinho, S., Kunin, W., Lausch, A., Leitão, P., Leitão, P., Marcantonio, M., Neteler, M., Ricotta, C., Schmidlein, S., ... Nagendra, H. (2018). Measuring β-diversity by remote sensing: A challenge for biodiversity monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 9, 1787–1798. <https://doi.org/10.1111/2041-210x.12941>
- Rodríguez-Ezpeleta, N., Zinger, L., Kinziger, A., Bik, H., Bonin, A., Coissac, É., Emerson, B., Lopes, C., Pelletier, T., Taberlet, P., & Narum, S. (2021). Biodiversity monitoring using environmental DNA. *Molecular Ecology Resources*, 21. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13399>
- Ruppert, K., Kline, R., & Rahman, M. S. (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00547>
- Sanyé-Mengual, E., Biganzoli, F., Valente, A., Pfister, S., & Sala, S. (2023). What are the main environmental impacts and products contributing to the biodiversity footprint of EU consumption? A comparison of life cycle impact assessment methods and models. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02169-7>
- Sarrazin, F., & Lecomte, J. (2016). Evolution in the Anthropocene. *Science*, 351, 922–923. <https://doi.org/10.1126/science.aad6756>
- Schachtschneider, C., Strand, E., Launchbaugh, K., & Jensen, S. (2024). Targeted Cattle Grazing to Alter Fuels and Reduce Fire Behavior Metrics in Shrub-Grasslands. *Rangeland Ecology and Management*, 96, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2024.05.010>
- Scherer, L., Van Baren, S., & Van Bodegom, P. (2020). Characterizing Land Use Impacts on Functional Plant Diversity for Life Cycle Assessments. *Environmental Science & Technology*, 54, 6486–6495. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07228>
- Sekhar, P., Savithri, Y., Kavitha, N., & Kumari, D. (2024). Role of Biodiversity and its Importance in Sustainable Development: A Comprehensive Review. *UTTAR PRADESH JOURNAL OF ZOOLOGY*. <https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i84012>



- Seymour, M., Edwards, F., Cosby, B., Bista, I., Scarlett, P., Brailsford, F., Glanville, H., De Bruyn, M., Carvalho, G., & Creer, S. (2021). Environmental DNA provides higher resolution assessment of riverine biodiversity and ecosystem function via spatio-temporal nestedness and turnover partitioning. *Communications Biology*, 4. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02031-2>
- Silva, V., Catry, F., Fernandes, P., Rego, F., Paes, P., Nunes, L., Caperta, A., Sérgio, C., & Bugalho, M. (2019). Effects of grazing on plant composition, conservation status and ecosystem services of Natura 2000 shrub-grassland habitat types. *Biodiversity and Conservation*, 28, 1205–1224. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01718-7>
- Sîrbu, I., Benedek, A., & Sîrbu, M. (2025). Rethinking composite quantification by capturing biological and ecological diversity across multiple dimensions. *Scientific Reports*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13161-6>
- Song, J., Chaudhary, A., Bai, X., & Yang, Y. (2025). Life-cycle biodiversity assessment of global crop production: Advances, framework, and outlooks. *Journal of Environmental Management*, 393, 126934. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126934>
- Souza, D., Teixeira, R., & Ostermann, O. (2014). Assessing biodiversity loss due to land use with Life Cycle Assessment: are we there yet? *Global Change Biology*, 21, 32–47. <https://doi.org/10.1111/gcb.12709>
- Stavi, I. (2019). Wildfires in Grasslands and Shrublands: A Review of Impacts on Vegetation, Soil, Hydrology, and Geomorphology. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w11051042>
- Strange, N., Ermgassen, S., Marshall, E., Bull, J., & Jacobsen, J. (2024). Why it matters how biodiversity is measured in environmental valuation studies compared to conservation science. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110546>
- Teillard, F., Souza, D., Thoma, G., Gerber, P., & Finn, J. (2016). What does Life-Cycle Assessment of agricultural products need for more meaningful inclusion of biodiversity? *Journal of Applied Ecology*, 53, 1422–1429. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12683>
- Teixeira, R., Souza, D., Curran, M., Antón, A., Michelsen, O., & Canals, L. (2016). Towards consensus on land use impacts on biodiversity in LCA: UNEP/SETAC Life Cycle Initiative preliminary recommendations based on expert contributions. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4283–4287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.118>



Thomsen, P., & Willerslev, E. (2015). Environmental DNA - An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.019>

Trotta, G., Cadez, L., Boscutti, F., Vuerich, M., Asquini, E., Boscarol, G., Cingano, P., Azzani, G., Pischedda, S., Tomao, A., & Alberti, G. (2024). Interpreting the shifts in forest structure, plant community composition, diversity, and functional identity by using remote sensing-derived wildfire severity. *Fire Ecology*. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00330-7>

Uwingabire, Z., Vanbergen, A., Damiens, F., Breeze, T., Van Der Wal, R., & Young, J. (2025). Worldviews and values of key societal actors influencing decision-making around nature: The case of wild pollinator conservation in Europe. *People and Nature*, 7, 1366–1381. <https://doi.org/10.1002/pan3.70035>

Volkova, L., Di Stefano, J., Thompson, E., & Weston, C. (2025). Influence of wildfire severity on plant and bird species richness, diversity and composition. *Discover Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s44353-024-00016-w>

Winter, L., Lehmann, A., Finogenova, N., & Finkbeiner, M. (2017). Including biodiversity in life cycle assessment – State of the art, gaps and research needs. *Environmental Impact Assessment Review*, 67, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.08.006>

Woods, J., Veltman, K., Huijbregts, M., Verones, F., & Hertwich, E. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment (LCA). *Environment International*, 89–90, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>

Zhen, H., Goglio, P., Hashemi, F., Cederberg, C., Fossey, M., & Knudsen, M. T. (2025). Toward Better Biodiversity Impact Assessment of Agricultural Land Management through Life Cycle Assessment: A Systematic Review. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c02000>



ANEXO

Conceptos clave en ACV, adaptado de Rosenbaum et al. (2017).

Término	Definición
Área de protección	Conjunto de elementos con valor social (salud, recursos, medio ambiente) que se pretenden salvaguardar en un estudio ambiental.
Categoría de impacto	Clasificación de problemas ambientales (como el cambio climático) a los que se asignan los datos de un inventario.
Ecoesfera	La esfera de la Tierra que comprende todos los ecosistemas y la interacción entre seres vivos y elementos inertes.
Efecto potencial	Indicadores que permiten comparar y optimizar el desempeño ambiental de un producto o sistema.
Factor de caracterización	Coeficiente que traduce los datos del inventario (ej. kg de gas) a una unidad común de impacto (ej. CO ₂ equivalente).
Flujo elemental	Materia o energía que entra o sale del sistema directamente desde o hacia la naturaleza, sin intervención humana previa o posterior.
Impacto ambiental	Consecuencias potenciales en la salud o el entorno causadas por la interacción entre la actividad humana (tecnosfera) y la naturaleza.
Indicador de categoría	Medida cuantificable que representa el impacto dentro de una categoría específica.
Indicador de punto medio (Midpoint)	Punto intermedio en la cadena causa-efecto (vía de impacto) entre la emisión y el daño final.
Mecanismo ambiental	Procesos físicos y químicos que conectan los datos del inventario con sus impactos finales en el medio ambiente.
Método de EACV	Conjunto de modelos científicos utilizados para evaluar diferentes categorías de impacto ambiental.



Modelo de caracterización	Representación matemática del mecanismo ambiental para calcular los factores de caracterización.
Indicador de punto final (Endpoint)	El daño último en la salud humana o los ecosistemas derivado de un problema ambiental.
Relevancia ambiental	El nivel de conexión real que existe entre un indicador de impacto y el daño final que se quiere medir.
Tecnosfera	El mundo construido por el ser humano, incluyendo toda la tecnología, industria y entornos modificados.
Vía de impacto	La cadena lógica de causa y efecto que sigue un contaminante desde que se emite hasta que produce un impacto.

Categorías de impacto usuales en ACV, adaptado de Rosenbaum et al. (2017).

Categoría de Impacto	Definición y Mecanismo Ambiental
Cambio Climático	Alteración del balance radiactivo atmosférico, causando un aumento de la temperatura global.
Acidificación	Emisiones que aumentan la concentración de iones de hidrógeno (H^+), reduciendo el pH en suelos y agua.
Eutrofización	Enriquecimiento excesivo de nutrientes que provoca el crecimiento desmedido de algas y falta de oxígeno.
Agotamiento del Ozono	Reducción de la capa de ozono estratosférico, permitiendo que más radiación UV-B llegue a la superficie.
Toxicidad Humana	Efectos adversos en la salud (cáncer o daños sistémicos) por exposición a sustancias químicas.
Ecotoxicidad	Daño a la estructura y función de los ecosistemas debido a la presencia de sustancias tóxicas.



Material Particulado	Efectos respiratorios causados por la inhalación de partículas finas o formación de partículas secundarias.
Uso de Recursos	Disminución de la disponibilidad de recursos minerales y fósiles para generaciones futuras.
Uso del Suelo	Impacto en la biodiversidad y servicios ecosistémicos debido a la ocupación o transformación de tierras.
Uso del Agua	Reducción de la disponibilidad de agua dulce para otros usuarios y ecosistemas (escasez).