



OVIHUEC.DAT

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

5.2.5.2

INDICADOR PARA ACV SOBRE EL PAPEL DE LA SILVOPASTURA EN EL RIESGO DE INCENDIOS

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



Información del documento

Número de informe	5.2.5.2
Nombre del informe	Indicador para ACV sobre el papel de la silvopastura en el riesgo de incendios
Descripción del informe	Material de formación de un nuevo indicador para ACV sobre silvopastura y riesgo de incendios
Objetivo	Objetivo 5- Ambiente
Actividad	A5.2 Efecto del pastoreo sobre la estructura de la vegetación y sobre el riesgo de incendios
Entidad coordinadora de la actividad	CTFC
Entidades participantes de la actividad	IRTA
Palabras clave	Ganadería, ACV, incendios forestales, servicios ecosistémicos
Autores	Renata Martins Pacheco, Miquel Andón, Ariadna Ballegra, Nuria Martínez, Víctor Rancaño, Sara Mollà, Marta Ruiz-Colmenero, Montserrat Núñez
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.....	5
1.1.	Contexto	5
1.2.	Objetivo	5
1.3.	Estructura del informe	6
2.	Abordaje metodológico Ovihuec.dat	6
2.1.	Revisión de la literatura en tres etapas	7
1.	Ganadería extensiva, ACV y Antecedentes IRTA.....	7
2.	Servicios ecosistémicos de la ganadería de montaña	8
3.	Integración de Sservicios ecosistémicos en las categorías de impacto del ACV	10
2.2.	Identificación de metodologías	11
2.3.	Aplicación en Ovihuec.dat	12
2.3.1.	Objetivo y alcance	12
2.3.2.	Cálculo de las emisiones de incendios	13
2.4.	Limitaciones y futuros trabajos	17
3.	Conclusiones	17
4.	Referencias	18
5.	Anexos	20



TABLA DE CONTENIDO

Tabla 1 - Factores de emisión promedios ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de combustible quemado, en materia seca) de los principales contaminantes del humo por tipo de vegetación. Fuente: Fernandes et al. (2022).....	16
Tabla 2 – Resultados de las emisiones sin (Escenario 1A) y con tratamiento mecánico forestal con silvopastoril (Escenario 2A).....	21

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1 – Diagrama de Flujo del Abordaje Metodológico aplicado en Ovihuec.dat.	7
Ilustración 2 – Integración de los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en ACV, de acuerdo con la propuesta de VanderWilde & Newell (2021).	11
Ilustración 3 - Abordaje metodológico de Ovihuec.dat para la integración de dos grupos de servicios ecosistémicos en tres categorías de impacto del ACV.	12
Ilustración 4 – Escenarios estudiados: 1A – Riesgo de incendio forestal sin las intervenciones realizadas en el proyecto. 2B – Riesgo de incendio forestal con las intervenciones (mecánicas + silvopastoriles) realizadas en el proyecto. En ambos casos se simularon incendios bajo condiciones meteorológicas extremas.	13

TABLA DE ECUACIONES

(Ecuación 1)	15
(Ecuación 2)	15
(Ecuación 3)	16
(Ecuación 4)	16
(Ecuación 5)	17



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO

El abandono rural, impulsado por la despoblación y cambios socioeconómicos, ha generado la reforestación de antiguas áreas agrícolas y un aumento significativo de la carga de combustible vegetal. Este fenómeno, combinado con el cambio climático y la introducción de especies no adaptadas al fuego, incrementa el riesgo de incendios forestales, que se han vuelto más frecuentes, intensos y devastadores. Estos incendios no solo amenazan vidas y biodiversidad, sino también servicios ecosistémicos esenciales como la protección del suelo, el suministro de agua y la seguridad alimentaria (Bernués et al., 2014; Holden et al., 2021).

Para reducir este riesgo, se aplican diversas técnicas de gestión del combustible, como tratamientos mecánicos, químicos, quemadas prescritas y pastoreo (Oikonomou et al., 2023; Schlickman & Milligan, 2022). Entre ellas, el pastoreo extensivo destaca por ser multifuncional: disminuye la biomasa herbácea y los combustibles finos, interrumpe las “escaleras de combustible” y crea mosaicos en el paisaje que limitan la propagación del fuego. Además, es rentable, ecológico, socialmente aceptado y adecuado para terrenos difíciles, lo que lo convierte en una solución basada en la naturaleza con beneficios ambientales, económicos y sociales superiores a otras alternativas (Lasanta et al., 2018; Lovreglio et al., 2014; Schlickman & Milligan, 2022).

Sin embargo, las herramientas tradicionales de evaluación ambiental, como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), presentan limitaciones importantes. A menudo no consideran los beneficios indirectos del pastoreo extensivo, como la reducción del riesgo de incendios y la preservación de servicios ecosistémicos. Esto puede llevar a clasificar estos sistemas como menos sostenibles frente a modelos intensivos, subestimando su papel en la resiliencia del paisaje. Por tanto, es necesario adaptar el ACV para integrar estos impactos positivos y reflejar mejor la contribución del pastoreo a 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 y aplicación 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 vinculados al cambio climático están impulsando el abandono rural, un fenómeno presente en numerosas regiones de Europa, incluidos los Pirineos. En este contexto, es esencial desarrollar nuevas estrategias para revalorizar actividades tradicionales como el pastoreo, integrándolas en modelos económicos multifuncionales que favorezcan la conservación del paisaje, reduzcan el riesgo de incendios forestales y mantengan viva la cultura local.



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

Por esta razón, la subacción (5.2.5.2) tiene como objetivo demostrar un enfoque metodológico que permita considerar los beneficios del pastoreo en la reducción del riesgo de incendios dentro del ACV.

1.3. ESTRUTURA DEL INFORME

El presente informe se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se ofrece una breve introducción del objetivo. A continuación, se presenta el abordaje metodológico utilizado para integrar los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en el ACV. Posteriormente, se describen los resultados obtenidos con la aplicación de este enfoque, junto con las limitaciones metodológicas que aún persisten. Finalmente, se examinan las posibles implicaciones del uso de este indicador en futuros ACV y su potencial influencia en la formulación de políticas públicas relacionadas con la seguridad alimentaria y la gestión del territorio.

2. ABORDAJE METODOLÓGICO OVIHUEC.DAT

El proceso se inicia con una exhaustiva revisión de la literatura, estructurada en tres etapas, que constituye la base para la construcción del marco teórico.

1. **Primera etapa:** se analiza la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en sistemas de ganadería extensiva, identificando las principales limitaciones metodológicas y revisando los antecedentes de proyectos similares desarrollados en el IRTA.
2. **Segunda etapa:** se procede a la identificación y caracterización de los servicios ecosistémicos asociados a la ganadería extensiva, con especial énfasis en los entornos de alta montaña, a partir de la evidencia científica disponible.
3. **Tercera etapa:** se exploran las posibilidades de integración de dichos servicios ecosistémicos positivos en las categorías de impacto del ACV, estableciendo las bases conceptuales para la fase analítica.

Posteriormente, el estudio contempla:

4. **Identificación de metodologías existentes** que permitan incorporar los servicios ecosistémicos previamente definidos en el marco del ACV.
5. **Evaluación crítica** de los puntos fuertes y las limitaciones del enfoque metodológico propuesto.
6. **Formulación de conclusiones y recomendaciones** orientadas a la mejora del análisis y a la definición de líneas de investigación futuras.

A continuación, la Ilustración 1 presenta un diagrama de flujo simplificado que articula las etapas del abordaje metodológico descrito, centrado en una propuesta concreta de integración de los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en ACV.



Abordaje metodológico

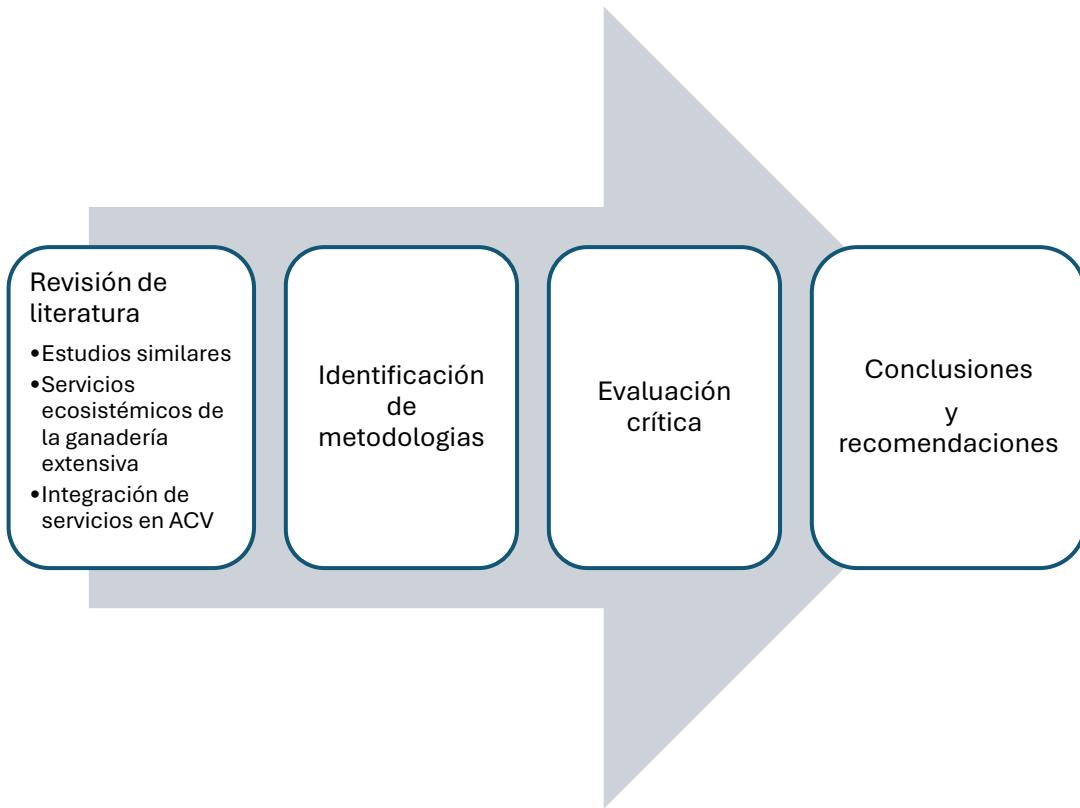


Ilustración 1 – Diagrama de Flujo del Abordaje Metodológico aplicado en Ovihuec.dat.

2.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA EN TRES ETAPAS

La investigación se inició con una exhaustiva revisión de la literatura estructurada en tres etapas clave para garantizar una comprensión profunda y contextualizada de la temática.

1. GANADERÍA EXTENSIVA, ACV Y ANTECEDENTES IRTA

Estudios previos realizados por el IRTA para la Diputación de Barcelona se centraron en cuantificar la huella ambiental de la producción de bovino en extensivo, destacando el beneficio del pastoreo en la reducción de emisiones asociadas a incendios en el Parque Rural del Montserrat (Andón et al., 2022). Para ello, se empleó la herramienta de ACV, considerada la metodología de referencia para evaluar impactos ambientales.

Este estudio evidenció que, aunque el ACV es recomendado por organismos científicos y políticos como la Comisión Europea, el Programa Ambiental de Naciones Unidas y la FAO, aún presenta limitaciones metodológicas. Entre ellas, la ausencia de una categoría específica para medir beneficios ambientales derivados de la provisión de servicios ecosistémicos, aspecto clave en actividades del sector primario como la ganadería extensiva.



De forma complementaria, investigaciones como la de Braghieri et al. (2015) en Italia subrayan la necesidad de incorporar de manera estructurada los beneficios del pastoreo en el ACV. Este trabajo, centrado en sistemas tradicionales de ganado autóctono, muestra que, aunque la ganadería intensiva emite menos gases de efecto invernadero, el pastoreo extensivo aporta servicios ecosistémicos esenciales: reduce el riesgo de incendios, mejora la calidad del suelo y del agua, y fortalece la economía rural. Integrar estos beneficios en el ACV permitiría una visión más completa del valor ambiental de las prácticas tradicionales, aunque persisten retos metodológicos para su plena incorporación.

2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA GANADERÍA DE MONTAÑA

La ganadería extensiva en áreas de montaña y sistemas silvopastoriles contribuye significativamente a la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de paisajes abiertos. Al aprovechar pastos naturales y seminaturales, estos sistemas evitan la homogeneización del territorio y reducen procesos como la sucesión vegetal, la expansión forestal y la pérdida de especies adaptadas a ambientes abiertos (Durán et al., 2020; Lecegui et al., 2024). Esta práctica mantiene mosaicos de hábitats que son esenciales para la fauna y flora, favoreciendo la resiliencia ecológica frente al abandono rural y la intensificación agrícola, que suelen provocar pérdida de diversidad y degradación funcional de los ecosistemas (Durán et al., 2020).

Otro beneficio clave es la regulación de riesgos ambientales, especialmente la prevención de incendios forestales. El pastoreo reduce la acumulación de biomasa y necromasa en zonas de alta montaña y bosques mediterráneos, disminuyendo la vulnerabilidad al fuego y contribuyendo a la estabilidad del paisaje (Lecegui et al., 2024). Además, la integración de ganado en sistemas silvopastoriles mejora la gestión forestal al controlar la densificación y el avance de matorrales, lo que no solo reduce el riesgo de incendios, sino que también favorece la regeneración de especies herbáceas y la funcionalidad del suelo, evitando procesos de erosión y pérdida de fertilidad (Lecegui et al., 2024; Muñoz-Ulecia et al., 2024).

Finalmente, la ganadería extensiva apoya la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo del carbono y la calidad del suelo. Al mantener la cobertura vegetal y promover el reciclaje de nutrientes mediante el estiércol, contribuye a la captura de carbono y a la regulación hidrológica (Durán et al., 2020). Estos sistemas, al depender menos de insumos externos y combustibles fósiles, presentan una menor huella ambiental que los modelos intensivos, reforzando su papel en la mitigación del cambio climático (Muñoz-Ulecia et al., 2024). Además, la continuidad de estas prácticas tradicionales asegura la preservación de conocimientos locales y la multifuncionalidad del territorio, integrando producción de alimentos con beneficios ambientales y culturales (Lecegui et al., 2024).

Normalizando con la nomenclatura CICES v.5.2*, estos servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en zona de montaña encajarían en los siguientes grupos:

5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS



- **1.1.3. Animales criados para alimentación, materiales o energía**, por la provisión de carne, leche y otros productos derivados del ganado.
- **2.2.2. Regulación del ciclo hidrológico y del flujo de agua**, al mantener la infiltración y reducir la escorrentía mediante la cobertura vegetal.
- **2.2.3. Mitigación de riesgos**, por la reducción del riesgo de incendios y erosión gracias al control de biomasa.
- **2.3.2. Mantenimiento del ciclo vital, hábitat y protección del acervo genético**, al conservar hábitats abiertos y mosaicos que sostienen la biodiversidad.
- **2.3.6. Composición y condiciones atmosféricas**, mediante la captura de carbono y la regulación de gases de efecto invernadero.
- **3.2.1. Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno**, por el valor cultural y recreativo asociado a paisajes ganaderos y biodiversidad.
- **6.1.1. Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas geofísicos que dependen de la presencia en el entorno**, por el disfrute estético y turístico de los entornos de alta montaña gestionados por prácticas pastorales.

*La nomenclatura CICES V5.2 es la versión más reciente del *Common International Classification of Ecosystem Services*. Esta clasificación internacional organiza los servicios ecosistémicos en categorías para facilitar su evaluación y su aplicación en la ciencia y en las políticas públicas.

Su objetivo es describir de manera sistemática las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano, diferenciándolas de los bienes y beneficios derivados. La estructura es jerárquica y se organiza en tres grandes secciones:

- **Provisioning** (provisión de recursos)
- **Regulation and Maintenance** (regulación y mantenimiento)
- **Cultural** (servicios culturales)

CICES V5.2 está organizada en cuatro niveles jerárquicos (Sección, División, Grupo, Clase) que permiten definir los servicios ecosistémicos con distintos grados de especificidad. Esta estructura facilita tanto una descripción general como una clasificación detallada, adaptándose a diferentes necesidades de análisis y evaluación



3. INTEGRACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO DEL ACV

La integración de los servicios ecosistémicos en ACV surge para capturar impactos más allá de los indicadores ambientales tradicionales, incorporando beneficios y costos asociados a la provisión de servicios naturales. Inicialmente, los esfuerzos se centraron en adaptar el marco de evaluación de impactos (LCIA) mediante indicadores relacionados con el uso del suelo, como regulación climática, erosión y purificación del agua. Sin embargo, estos enfoques eran fragmentados y carecían de una estructura conceptual robusta. Para superar esta limitación, se propuso el uso del modelo en cascada de SE, que vincula cambios en la estructura y función de los ecosistemas con beneficios y valores para la sociedad, alineándolo con las cadenas causa-efecto del ACV. Este enfoque busca evitar el doble conteo, diferenciar entre servicios intermedios y finales, y considerar retroalimentaciones entre tecnosfera y biosfera (Rugani et al., 2019).

Vander Wilde & Newell (2021) analizaron más de 56.000 publicaciones sobre ACV y servicios ecosistémicos, solo 91 estudios integraron servicios ecosistémicos de manera significativa en ACV. La mayoría se concentra en unos pocos servicios, principalmente relacionados con regulación climática y balance de carbono, mientras que los servicios culturales apenas aparecen en 6 publicaciones. El enfoque dominante ha sido cuantificar impactos de uso del suelo y cambios en la cobertura terrestre, utilizando indicadores biogeofísicos o monetarios. Sin embargo, la integración sigue fragmentada: más del 75% de los estudios aborda cinco o menos códigos CICES, y un tercio solo considera un servicio ecosistémico.

La Ilustración 2 muestra la integración de los servicios ecosistémicos asociados a la ganadería extensiva, identificados en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme a la propuesta de Vander Wilde & Newell (2021).

5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

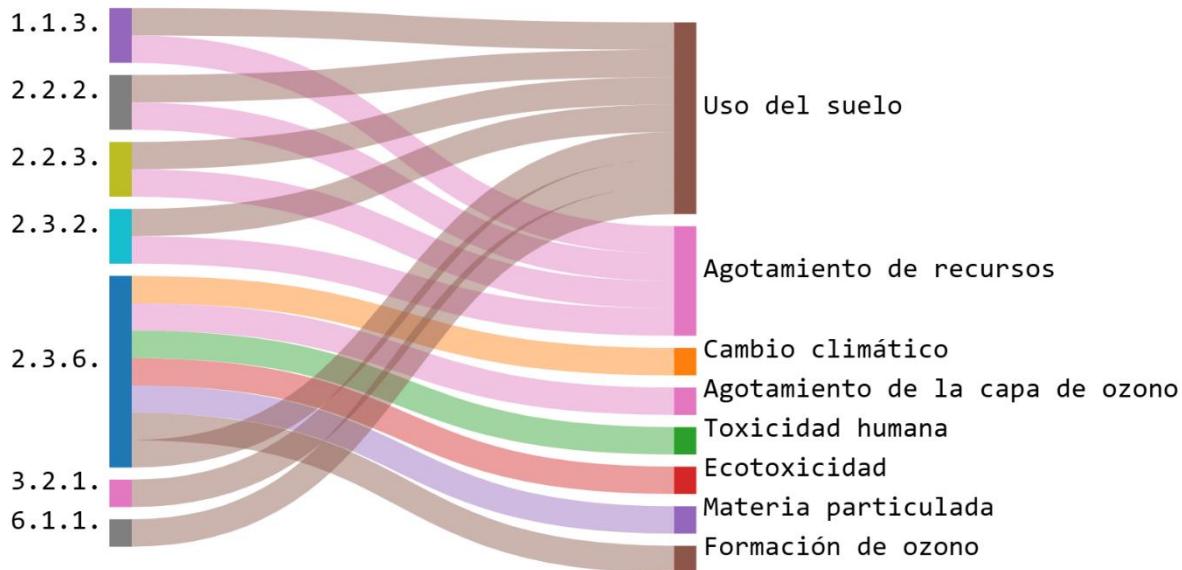


Ilustración 2 – Integración de los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en ACV, de acuerdo con la propuesta de VanderWilde & Newell (2021).

2.2. IDENTIFICACIÓN DE METODOLOGÍAS

Una vez identificados los servicios ecosistémicos proporcionados por la ganadería extensiva en el contexto de los Pirineos, se llevó a cabo un exhaustivo trabajo de revisión sobre el enfoque metodológico aplicado en proyectos anteriores del equipo en contextos similares (Andón et al., 2022). Este proceso permitió analizar en profundidad las metodologías previamente empleadas, evaluando sus fortalezas y limitaciones, con el objetivo de optimizar el análisis actual y garantizar la coherencia con experiencias previas.

Paralelamente, se realizó una revisión bibliográfica específica centrada en las emisiones gaseosas y de partículas derivadas de incendios forestales, así como en los modelos de comportamiento del fuego (Fernandes et al., 2022). La combinación de ambas revisiones facilitó la identificación de aquellos servicios ecosistémicos para los cuales ya existía la posibilidad de integrarlos en las categorías de impacto actualmente incorporadas en el ACV.

La Ilustración 3 muestra las integraciones realizadas, evidenciando cómo los resultados obtenidos a partir de la revisión metodológica y bibliográfica permitieron incluir los servicios ecosistémicos relevantes dentro de las categorías de impacto establecidas en el ACV.

5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

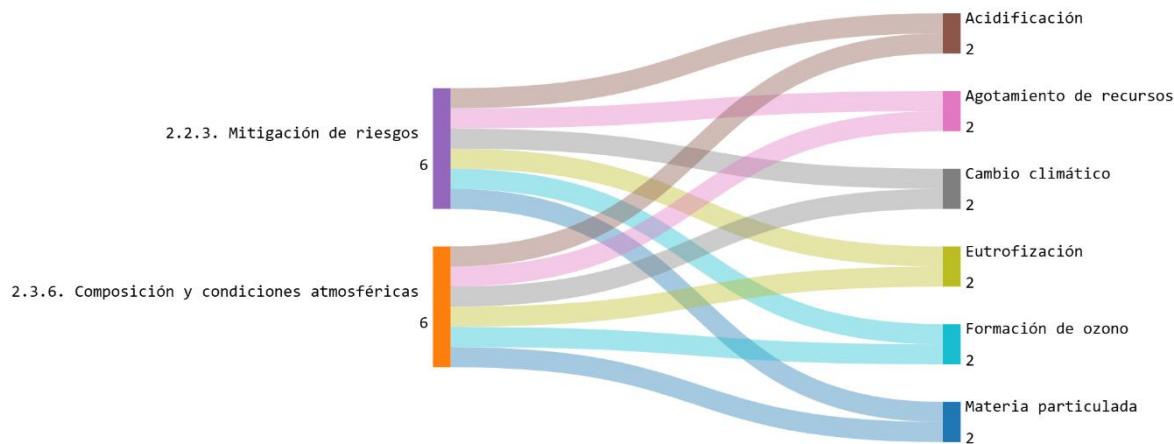


Ilustración 3 - Abordaje metodológico de Ovihuec.dat para la integración de dos grupos de servicios ecosistémicos en seis categorías de impacto del ACV.

En este abordaje hemos identificado incluso la posibilidad de incluir las categorías de impacto “Acidificación” y “Eutrofización”, que no habíamos encontrado en la literatura revisada.

2.3. APLICACIÓN EN OVIHUEC.DAT

A continuación, describimos la memoria de cálculo y las fuentes de datos utilizadas.

2.3.1. OBJETIVO Y ALCANCE

Objetivo: cuantificar la huella ambiental de la producción de ovino y caprinos en extensivo, poniendo el foco en el beneficio ambiental del pastoreo en la reducción de las emisiones asociadas a un incendio forestal en Vilamòs.

Producto: Ovinos de carne y reducción de biomasa aérea.

Modelización: en el presente trabajo se realizará un ACV atribucional de las dos explotaciones analizadas. Esto significa llevar a cabo una contabilidad ambiental del sistema tal cual, sin asumir potenciales consecuencias (propio de los ACV consecuenciales) de la adaptación en este sistema de otros procesos que se pudieran derivar de ciertas decisiones. Por ejemplo, la sustitución de una alimentación basada principalmente en pasto y una menor complementación nutritiva con concentrados en comparación a una alimentación exclusiva de forrajes y concentrados, implicará cambios en usos del suelo de bosque a agrícola, cambios en las importaciones, aumento rendimientos, etc.

Distribución de cargas ambientales: En el presente estudio se ha realizado una asignación de cargas por los diversos coproductos en cada una de las explotaciones analizadas, siguiendo las pautas marcadas en las normativas respectivas. En cuanto al caso de la carne, hoy en día no existe una PEFCR específica de carne a granja. Por este motivo, se han seguido las reglas descritas en la guía LEAP *Environmental performance of large ruminant supply chains* (FAO, 2016), que concluyen en una distribución de cargas económica en los casos descritos en el presente estudio (apartado 9.2, figura 10). En este sentido, la clave de

asignación económica es la relación entre los ingresos del coproducto de interés y los ingresos totales de la actividad.

Periodo análisis: datos promedios de producción 2022-2025 más datos secundarios variables temporalmente.

Escenarios estudiados: se han planteado los escenarios que se muestran en la Ilustración 4, concretamente diferenciando entre un escenario donde se realiza gestión del bosque con ganado (y desbroce mecánico en la explotación) (escenario 2) versus un escenario donde el bosque no se gestiona (no hay ganado ni desbroce) (escenario 1). Se ha cuantificado los impactos de un incendio mediante la cuantificación de las emisiones debidas a la quema de la biomasa del bosque y la reducción de las mismas debido al pastoreo. Hemos modalizado un escenario extremo de incendios en Vilamòs.

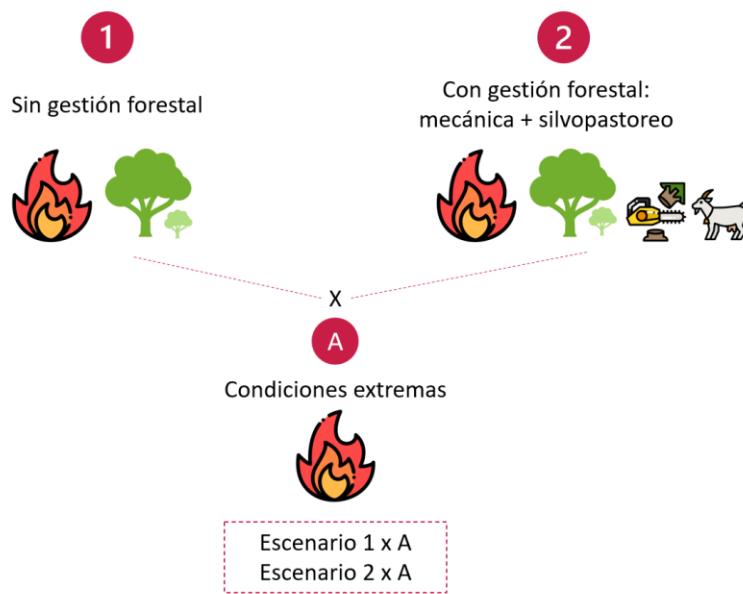


Ilustración 4 – Escenarios estudiados: 1A – Riesgo de incendio forestal sin las intervenciones realizadas en el proyecto. 2B – Riesgo de incendio forestal con las intervenciones (mecánicas + silvopastoriles) realizadas en el proyecto. En ambos casos se simularon incendios bajo condiciones meteorológicas extremas.

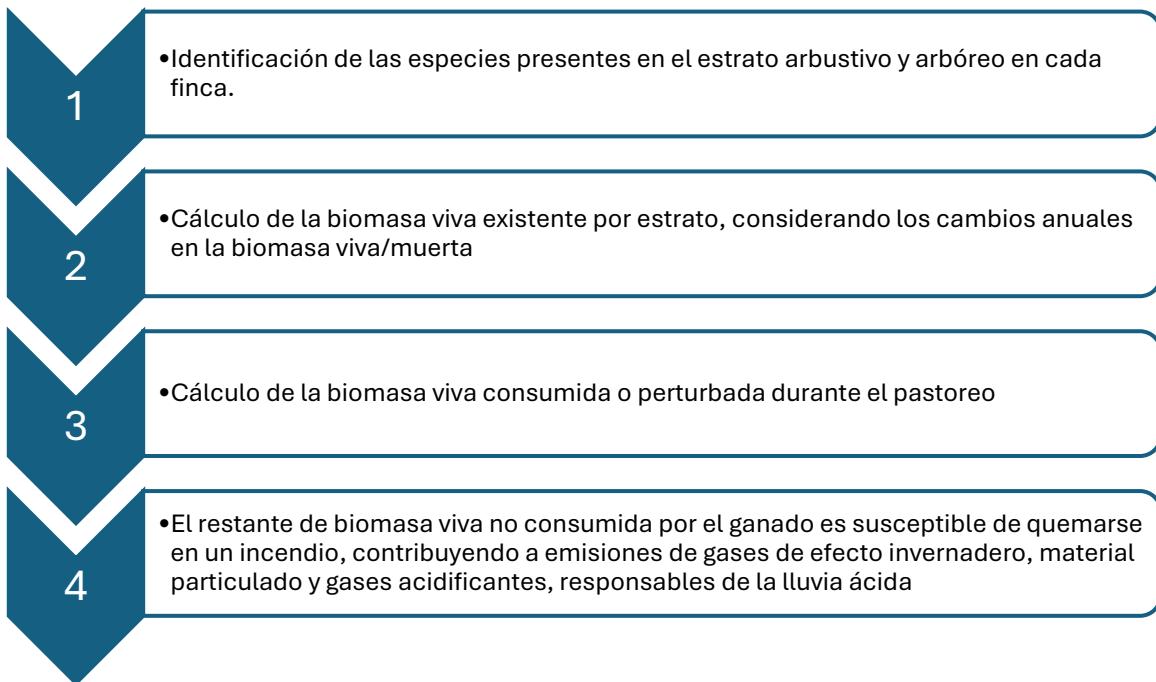
2.3.2. CÁLCULO DE LAS EMISSIONES DE INCENDIOS

Para evaluar el efecto de los tratamientos silvícolas orientados a favorecer la entrada de un rebaño y la implantación de la silvopastura, se ha realizado una simulación del comportamiento del fuego utilizando el software FlamMap. Las simulaciones se han llevado a cabo considerando diferentes escenarios meteorológicos representativos, partiendo de una capa de puntos de inicio de ignición definidos para el área de estudio, tanto en la situación previa como posterior a los tratamientos. Este enfoque permite analizar comparativamente la respuesta del fuego en función de los cambios de estructura y continuidad del combustible generados por las actuaciones silvícolas. Los escenarios meteorológicos utilizados se han obtenido a partir del servidor PREVINCAT del Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC) (PREVINCAT, 2019), que proporciona datos climáticos y cartografía de vegetación adaptados a zonas homogéneas de régimen de incendio.



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

Las emisiones se han calculado siguiendo los siguientes pasos:



El cuarto paso se realizó en cooperación con el Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC), que simuló el comportamiento de los incendios en los dos escenarios establecidos bajo condiciones meteorológicas extremas. Se optó por esta alternativa para obtener una estimación del beneficio máximo que puede esperarse de este tipo de intervención.

La biomasa viva es la cantidad de materia orgánica presente en los organismos vegetales de un ecosistema en un momento determinado. En el caso de una finca boscosa, estimar la biomasa de los estratos arbóreo (árboles) y arbustivo (arbustos) es fundamental para evaluar la productividad, el almacenamiento de carbono y la salud del bosque.

La estimación se basa en métodos indirectos, ya que medir la biomasa de forma destructiva (cortando y pesando) no es viable en la mayoría de los casos. Los métodos más utilizados son:

1. Inventario forestal y medición de variables dasométricas:

- Para el estrato arbóreo: se mide el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de los árboles.
- Para el estrato arbustivo: se mide el diámetro basal, la altura y, en algunos casos la cobertura.

2. Uso de ecuaciones alométricas:

- Son fórmulas que relacionan variables fácilmente medibles (DAP, altura, densidad de la madera) con la biomasa.



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

- Ejemplo general:

$$\text{Biomasa} = a \times (\text{DAP})^b \times (\text{Altura})^c \times (\text{Densidad})^d$$

(Ecuación 1)

a, b, c y d: coeficientes específicos por especie o región.

3. Factores de expansión y tablas de biomasa:

- Se aplican cuando se dispone de datos de volumen maderable y se convierte a biomasa mediante factores predefinidos.

En este caso se necesitan una serie de consideraciones clave:

- **Separación por estratos:** El arbóreo y el arbustivo se estiman por separado debido a diferencias en estructura y ecuaciones.
- **Especificidad regional y de especie:** Las ecuaciones deben adaptarse a las especies presentes y a las condiciones locales.
- **Muestreo representativo:** Es esencial definir parcelas y un diseño estadístico adecuado para extrapolar resultados.

En este caso al realizar un inventario forestal de las diferentes fincas correspondientes al proyecto se usaron estos datos. Pero en ocasiones si no están disponibles estos datos se puede usar la metodología recomendada por el Ministerio para la Transición Ecológica y reto demográfico (MITECO) en el Sistema Español de Inventario de Emisiones definida en la ficha del “*Cambio en las existencias de carbono de la biomasa viva en las tierras forestales que permanecen como tales*” (MITECO, 2023).

En esta ficha se explica como estimar el stock de biomasa viva por hectárea, provincia y año a través de la información contenida en los Inventarios Forestales Nacionales de España (IFN) 2, 3 y 4 (IFN2, IFN3 e IFN4) y siguiendo un procedimiento basado en la Guía IPCC 2006 (apartado 2.3.1, capítulo 2, volumen 4). Los IFN aportan información del stock de biomasa viva por hectárea (medido en volumen maderable por hectárea - m³/ha) y por provincia, en el año en que se realiza el IFN en cada provincia. La biomasa viva aérea, en toneladas de materia seca por hectárea (t m.s./ha), se calcula multiplicando el volumen maderable provincial (V) recogido en los IFN, en metros cúbicos por hectárea y especie, por los factores de expansión de biomasa (BEFD) propios de cada especie (que en el caso de España incluye la densidad de la madera). Aplicando el factor de expansión de raíces (R) a la biomasa viva aérea, se obtiene el valor total anual de biomasa por hectárea (B_{ha}), que integra tanto la biomasa aérea como la subterránea. A continuación, se muestra la fórmula de cálculo:

$$B_{ha} = V \times BEFD \times (1 + R)$$

(Ecuación 2)

B_{ha} = biomasa total anual por hectárea (t m.s./ha).

V = volumen maderable anual por hectárea (m³/ha).



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

BEFD = factor de expansión de biomasa, para transformar el volumen maderable en biomasa arbórea sobre el suelo (t m.s./m³ volumen maderable), que incluye la influencia de la densidad de la madera.

R = coeficiente raíz-vástago (adimensional).

Las emisiones al aire se han calculado con base en la masa vegetal quemada estimada en las simulaciones, a partir de los factores de emisión por kilogramo de biomasa viva en materia seca de la **Tabla 1**.

Tabla 1 - Factores de emisión promedios (g·kg⁻¹ de combustible quemado, en materia seca) de los principales contaminantes del humo por tipo de vegetación. Fuente: Fernandes et al. (2022).

Especies	Eucalipto	Otras resinosas	Roble, castaño, alcornoque	Acacia	Otras frondosas	Pino marítimo	Pino piñonero
PM ₁₀	21	10	13	11	8,3	13	10
PM _{2,5}	19	9	11	10	6,3	11	9
NO _x	5	3	3	5	3,11	3	5
CO	170	100	128	232	102	204	91
SO ₂	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,8	0,8
NH ₃	0,6	0,6	0,6	0,6	2,17	0,6	0,6
CO ₂	1408	1497	1393	1561	1585	1398	1487
CH ₄	6	6	6	4,7	5,82	6	5

Por último, se calculan las emisiones para cada compuesto de la **Tabla 1** a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones incendio (kg contaminte)} = \sum (B_{ha} \times A \times FE \times SV)_{b,c}$$

(Ecuación 3)

$$\text{Emisiones incendio anuales } \left(\text{kg} \frac{\text{contaminante}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{Emisiones incendio}}{\text{RI}}$$

(Ecuación 4)

A = superficie quemada en ha.

FE = factores de emisión promedios por contaminante de las emisiones al aire (**Tabla 1**).

SV = severidad, porcentaje de consumo de biomasa por clase de severidad y tipo de vegetación en caso de incendio, es decir, porcentaje de la biomasa total que se quemaría.

b: tipo de especies vegetales.

c: compuesto contaminante emitido al aire.



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

RI: recurrencia de los incendios, es decir, período de retorno para que vuelva a quemarse la zona en cuestión (PREVINCAT, 2019).

Para el cálculo de las emisiones del escenario 2A habría que sumar las estimadas para el potencial incendio más las del tratamiento forestal y las del rebaño.

$$\text{Emisiones Escenario 2A (kg} \frac{\text{contaminante}}{\text{año}}) = \text{Emisiones incendio anuales} + \frac{\text{ETF}}{F}$$

(Ecuación 5)

ETF: emisiones derivadas del tratamiento forestal mecánico, incluye las emisiones directas de la maquinaria usada y de la gestión de los restos vegetales resultantes.

F: frecuencia de los tratamientos forestales mecánicos, unidades: años.

2.4. LIMITACIONES Y FUTUROS TRABAJOS

En Ovihuec.dat hemos identificado los beneficios ambientales de la ganadería extensiva mediante una revisión bibliográfica específica para la región. Siguiendo la clasificación propuesta por CICES (Haines-Young, 2023), se han reconocido siete grupos de servicios ecosistémicos potencialmente favorecidos por la presencia de la ganadería extensiva en la ecorregión pirenaica (Durán et al., 2020; Lecegui et al., 2024; Muñoz-Ulecia et al., 2024).

Con base en esta revisión, desarrollamos un abordaje metodológico para incorporar dos de estos servicios ecosistémicos de manera que pueda llegar a ser sistemática en el ACV. Este enfoque constituye un primer paso hacia la integración de beneficios ecosistémicos en evaluaciones ambientales, aunque aún se requieren esfuerzos adicionales para incluir otros servicios en el marco del ACV.

El método propuesto también admite mejoras futuras. Para esta primera aproximación, se utilizan factores de emisión validados, procedentes de publicaciones revisadas por pares, con el objetivo de realizar un intento pionero de reconocer y cuantificar estos beneficios en el contexto del ACV. No obstante, estudios futuros deberían incorporar datos primarios y realizar un seguimiento prolongado de los cambios en el territorio, a fin de aumentar la precisión y la representatividad de los resultados.

3. CONCLUSIONES

En un contexto de cambio climático, asociado a transformaciones socioeconómicas, surge la necesidad de soluciones multifuncionales para la gestión del territorio y la seguridad alimentaria. Este mismo proceso se observa en la región de los Pirineos, que atraviesa una transición territorial marcada por el abandono rural, la transformación de la actividad



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

económica y el aumento del riesgo de incendios en un escenario de cambio climático y ‘mediterraneización’ del territorio.

En este marco, la metodología desarrollada en el proyecto Ovhuec.dat representa un avance significativo hacia la consideración de la multifuncionalidad de la actividad ganadera. El enfoque propuesto permite cuantificar de manera objetiva dos de los servicios ecosistémicos asociados a la ganadería extensiva, tradicionalmente ignorados en las evaluaciones ambientales. Al integrar estos beneficios en el ACV, se amplía la visión del impacto ambiental real, incorporando dimensiones clave para la sostenibilidad.

Se recomienda avanzar en la validación empírica de los indicadores mediante datos de campo, ampliar la metodología a otros servicios ecosistémicos y sistemas productivos, y desarrollar herramientas digitales que faciliten su integración en plataformas de ACV. Asimismo, sería valioso explorar la incorporación de escenarios climáticos futuros para evaluar la resiliencia de los sistemas extensivos y su papel en la mitigación del riesgo de incendios.

La metodología desarrollada en Ovhuec.dat puede respaldar estrategias de gestión territorial y prevención de incendios, fortalecer certificaciones ambientales y etiquetado de productos, facilitar comparaciones entre sistemas de producción y justificar subvenciones y apoyos a modelos extensivos. En definitiva, Ovhuec.dat contribuye a una mejor alineación entre la evaluación ambiental y la realidad ecológica y social de los territorios de montaña.

4. REFERENCIAS

- Andón, M., Antón, A., Rosenbaum, R., Ruiz, M., Bàllega, A., Rancaño, V., Martínez, N., & Nuñez, M. (n.d.). *Ramaderia al Parc Rural del Montserrat Boví de carn Projecte DIBA*.
- Bernués, A., Rodríguez-Ortega, T., Ripoll-Bosch, R., & Alfnes, F. (2014). Socio-cultural and economic valuation of ecosystem services provided by Mediterranean mountain agroecosystems. *PLoS ONE*, 9(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102479>
- Busquets, E., Castellnou, M., González-Olabarria, J.R., Piqué, M. (2019). *Escenarios meteorológicos para la simulación de incendios forestales*. Servidor PREVINCAT.
- Braghieri, A., Pacelli, C., Bragaglio, A., Sabia, E., & Napolitano, F. (2015). The Hidden Costs of Livestock Environmental Sustainability The Case of Podolian Cattle. In *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin* (pp. 47–56). Springer International Publishing.
- Durán, M., Canals, R. M., Sáez, J. L., Ferrer, V., & Lera-López, F. (2020). Disruption of traditional land use regimes causes an economic loss of provisioning services in high-mountain grasslands. In *Ecosystem Services* (Vol. 46). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101200>



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

FAO. (2016). *Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment.*

Fernandes, A. P., Lopes, D., Sorte, S., Monteiro, A., Gama, C., Reis, J., Menezes, I., Osswald, T., Borrego, C., Almeida, M., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., & Miranda, A. I. (2022). Smoke emissions from the extreme wildfire events in central Portugal in October 2017. *International Journal of Wildland Fire*, 31(11), 989–1001.
<https://doi.org/10.1071/WF21097>

González-Olabarria, J.R., Piqué, M., Busquets, E. (2019). *Cartografía de vegetación para la simulación de incendios forestales. Servidor PREVINCAT.*

Haines-Young, R. (2023). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 Guidance on the Application of the Revised Structure.* www.cices.eu]

Holden, P. B., Ziervogel, G., Hoffman, M. T., & New, M. G. (2021). Transition from subsistence grazing to nature-based recreation: A nuanced view of land abandonment in a mountain social-ecological system, southwestern Cape, South Africa. *Land Use Policy*, 105.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105429>

Lasanta, T., Khorchani, M., Pérez-Cabello, F., Errea, P., Sáenz-Blanco, R., & Nadal-Romero, E. (2018). Clearing shrubland and extensive livestock farming: Active prevention to control wildfires in the Mediterranean mountains. *Journal of Environmental Management*, 227, 256–266. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.104>

Lecegui, A., Olaizola, A. M., Kok, K., & Varela, E. (2024). What shapes silvopastoralism in Mediterranean mid-mountain areas? Understanding factors, drivers, and dynamics using fuzzy cognitive mapping. *Ecology and Society*, 29(4). <https://doi.org/10.5751/ES-15605-290427>

Lovreglio, R., Meddour-Sahar, O., & Leone, V. (2014). Goat grazing as a wildfire prevention tool: A basic review. *IForest*, 7(4), 260–268. <https://doi.org/10.3832/ifor1112-007>

MITECO. (2023). *Cambio en las existencias de carbono de la biomasa viva en las tierras forestales que permanecen como tales.*

Muñoz-Ulecia, E., Martín-Collado, D., Bernués, A., Peral, A. T., Casasús, I., & Villalba, D. (2024). Can traditional management practices help mountain livestock farms in the Spanish Pyrenees cope with climate change? *Regional Environmental Change*, 24(1).
<https://doi.org/10.1007/s10113-023-02170-8>

Oikonomou, D., Vrahaklis, M., Yiakoulaki, M., Xanthopoulos, G., & Kazoglou, Y. (2023). Grazing as a Management Tool in Mediterranean Pastures: A Meta-Analysis Based on A Literature Review. In *Land* (Vol. 12, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/land12071290>



5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

Rugani, B., Maia de Souza, D., Weidema, B. P., Bare, J., Bakshi, B., Grann, B., Johnston, J. M., Pavan, A. L. R., Liu, X., Laurent, A., & Verones, F. (2019). Towards integrating the ecosystem services cascade framework within the Life Cycle Assessment (LCA) cause-effect methodology. *Science of the Total Environment*, 690, 1284–1298.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.023>

Schlickman, E., & Milligan, B. (2022). Shepherding for Wildfire Adaptation: A Case Study of Two Grazing Management Techniques in the Mediterranean Basin. *Landscape Architecture Frontiers*, 10(1), 28. <https://doi.org/10.15302/j-laf-1-020060>

VanderWilde, C. P., & Newell, J. P. (2021). Ecosystem services and life cycle assessment: A bibliometric review. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 169). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105461>

5. ANEXO

5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS



Tabla 2 – Coeficientes i valores correspondientes a los Escenarios 1A y 2A.

Factores RI (Recurrencia Incendios)	Unidad años	Escenario 1A	Escenario 2A
		583	583
Clase severidad	Arbustivo	Coníferas	Frondosas
	71%	25%	25%
	84%	47%	40%
	89%	56%	48%
Muy alta	95%	65%	56%
Escenario 1A	81%	41%	36%
Escenario 2A	71%	26%	25%

Tabla 3 – Resultados de las emisiones sin (Escenario 1A) y con tratamiento mecánico forestal con silvopastoril (Escenario 2A).

Categoría de impacto	Unidad	Escenario 1A	Escenario 2A
Climate change, long term	kg CO2 eq (l)	5,97E+03	2,85E+04
Climate change, short term	kg CO2 eq (s)	6,52E+03	3,05E+04
Fossil and nuclear energy use	MJ deprived	0,00E+00	3,59E+05
Freshwater acidification	kg SO2 eq	1,55E+00	1,23E+02
Freshwater ecotoxicity	CTUe	0,00E+00	3,96E+06
Freshwater eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00E+00	2,97E-01
Human toxicity cancer	CTUh	0,00E+00	6,64E-04
Human toxicity non-cancer	CTUh	0,00E+00	3,46E-03
Ionizing radiations	Bq C-14 eq	0,00E+00	5,69E+04
Land occupation, biodiversity	m2 ar ld.yr	0,00E+00	1,87E+03
Land transformation, biodiversity	m2 ar ld eq	0,00E+00	1,65E+01
Marine eutrophication	kg N N-lim e	5,93E-01	7,31E+00
Mineral resources use	kg deprived	0,00E+00	1,05E+03
Ozone layer depletion	kg CFC11 eq	0,00E+00	5,50E-04
Particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,08E+02	7,20E+01
Photochemical ozone formation	kgNOxeq	1,25E+01	2,18E+02
Plastics physical effects on biota	CTUe	0,00E+00	0,00E+00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	8,92E+00	1,39E+02
Water scarcity	m3 world-eq	0,00E+00	2,03E+03

5.2.5.2. ACV SOBRE LA SILVOPASTURA EN LOS INCENDIOS

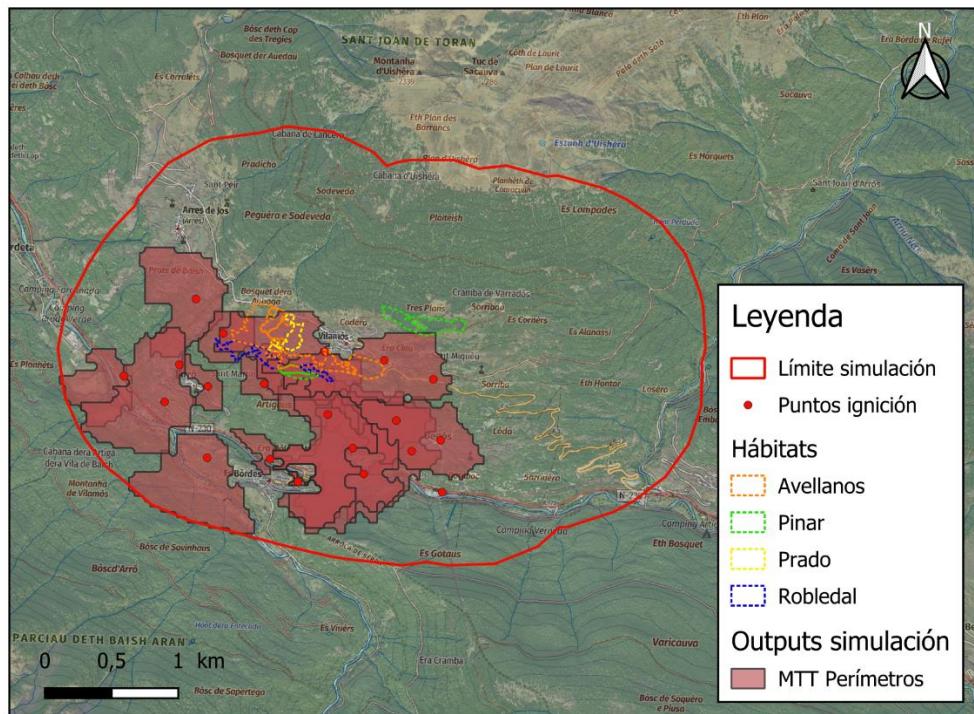


Ilustración 5 – Escenario 1A: Mapa de la simulación de propagación del incendio, mostrando los límites del modelo, puntos de ignición, hábitats afectados y perímetros generados por la simulación MTT.

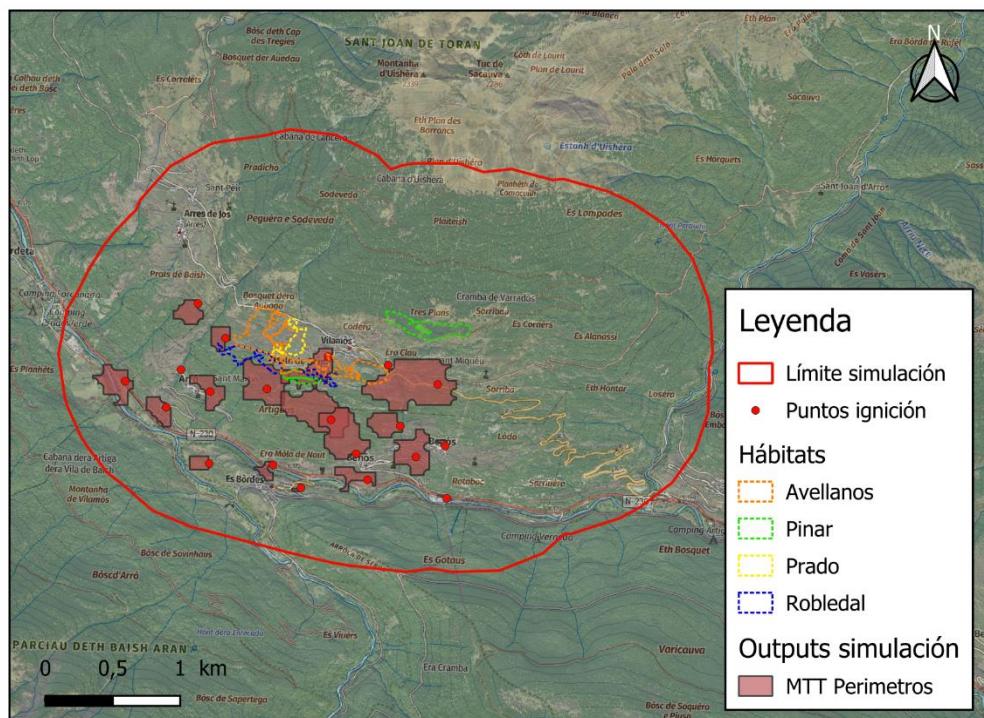


Ilustración 6 – Escenario 2A: Mapa de la simulación de propagación del incendio, mostrando los límites del modelo, puntos de ignición, hábitats afectados y perímetros generados por la simulación MTT.