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

Modelo de gestión para el desarrollo de la multifuncionalidad y la bioeconomía en zonas de alto valor ecológico mediante la ganadería extensiva y la trashumancia (BioNNOMÍA)

Informe técnico de resultados

Proyecto BIONNOMIA: Subacción A7.3 Cuantificación de servicios ecosistémicos ligados a la trashumancia ovina

Nuria G. Rabanal[1], Javier Gómez-Pérez[2]

[1]Departamento de Economía y Estadística, Universidad de León
[2]Departamento de Matemáticas, Universidad de León

Diciembre de 2025

Índice general

1. Metodología general 6
   1.1. Enfoque metodológico y justificación 6
   1.2. Diseño del estudio: casos reales + instrumento sistémico (Zona H) . 7
   1.3. Modelo: estructura y lógica de identificación 7
   1.4. Datos, fuentes y estrategia de parametrización 8
2. Modelo de producción física 8
   2.1. Superficie y biomasa disponible 9
   2.2. Carga ganadera y estancia del rebaño 9
   2.3. Consumo de biomasa y pastoreo efectivo 9
3. Modelo de prevención de incendios y componente climática 10
   3.1. Probabilidad de incendio y superficie quemada 10
   3.2. Coste económico de los incendios 11
   3.3. Emisiones asociadas a los incendios 11
   3.4. Valor climático de las emisiones evitadas 12
   3.5. Interpretación 12
4. Modelo de biodiversidad y servicios ecosistémicos 12
   4.1. Fundamentos conceptuales 13
   4.2. Valoración económica de la biodiversidad 13
5. Síntesis del modelo teórico 14
   5.1. Estructura general del modelo 14
   5.2. Beneficio social 15
   5.3. Criterios y datos para la aplicación del modelo 15
   5.4. Unidades espaciales de análisis 15
   5.5. Datos observados y datos estimados 16
   5.6. Criterios de parametrización 16
   5.7. Escenario homogéneo de referencia estructural del modelo 16

5.8. Alcance de la aplicación 17
6. Aplicación empírica del modelo: valoración ecosistémica de la trashumancia por zonas 17
6.1. Zonas de estudio y estructura del análisis 18
6.2. Calibración de parámetros y coherencia con la evidencia empírica . 19
6.3. Estructura de las subsecciones por zona 22
6.4. Construcción del escenario homogéneo (Zona H) 23
6.5. Resultados por zonas 23
6.5.1. Caracterización ecológica general de las zonas consideradas 23
6.5.2. Rastrojeras 24
6.5.3. Puerto de Las Pintas, Salamón (24/25) (2024) 24
6.5.4. Puerto de Piedrahita, Vidrieros (24/25) (2024) 26
6.5.5. Puerto de Peñalba, Aguasalio y el Venero, Valverde de la Sierra (24/25) (2024) 27
6.5.6. Puerto de Cueva grande y otros, Villanueva de la Peña (24/25) (2024) 29
6.5.7. Puerto de Regadas, Lumajo (24) (2024) 30
6.5.8. Puerto de las Argajadas, Villargusán (24/25) (2024) . . . 32
6.5.9. Dehesa Santa Olalla del Cala, Huelva (rebaño Pintas) (24/25) (2024) 33
6.5.10. Dehesa Cabeza del Buey, Badajoz (rebaño Piedrahita) (24) (2024) 34
6.5.11. Dehesa Cáceres (rebaño Peñalba) (24/25) (2024) 36
6.5.12. Dehesa Hernán-Pérez, Cáceres (rebaño Cueva Grande) (24/25) (2024) 37
6.5.13. Dehesa Cabeza del Buey, Badajoz (rebaño Regadas) (24) (2024) 38
6.5.14. Dehesa Torrejón El Rubio, Cáceres (rebaño Piedrahita) (25) (2025) 39
6.5.15. Dehesa Rastrojeras de León (rebaño Argajadas) (24/25) (2024) 41
6.5.16. Zona H: valoración sistémica de superficies agregadas de uso trashumante 42
6.5.17. Zona H (escenario homogéneo) (24/25) (2024) 43
6.5.18. Zona H (escenario homogéneo) (24/25) (2025) 44
6.5.19. Zona H (escenario homogéneo dehesas) (24/25) (2024) . 47

6.5.20. Zona H (escenario homogéneo dehesas) (24/25) (2025) . 48
7. Conclusiones 49
8. De la valoración de externalidades a la sostenibilidad económica de la trashumancia 50

Introducción

La trashumancia ha desempeñado históricamente un papel central en la configuración de los paisajes agro-silvo-pastorales de amplias regiones de la Península Ibérica. Más allá de su dimensión productiva y cultural, esta práctica ha contribuido de manera significativa a la gestión extensiva del territorio, influyendo en la estructura de la vegetación, la dinámica de los combustibles y el mantenimiento de hábitats abiertos de alto valor ecológico. Sin embargo, en el contexto actual de abandono rural, intensificación agraria y aumento del riesgo de incendios forestales, gran parte de estos beneficios asociados a la trashumancia tienden a quedar invisibilizados en los procesos de toma de decisiones económicas y de política pública.

Desde una perspectiva económica, muchos de los efectos positivos generados por la trashumancia adoptan la forma de externalidades públicas: beneficios que no son apropiados directamente por los agentes privados que desarrollan la actividad y que, por tanto, no se reflejan en los precios de mercado. Entre ellos destacan la reducción del riesgo y del daño esperado por incendios forestales, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a incendios evitados y la conservación de la biodiversidad vinculada al mantenimiento de sistemas extensivos. La ausencia de una valoración explícita de estos beneficios contribuye a la infra-remuneración de la actividad trashumante y dificulta su integración en estrategias de gestión territorial y prevención de riesgos.

En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar y aplicar un modelo de valoración económica centrado exclusivamente en los beneficios sociales ecosistémicos asociados a la trashumancia. El enfoque adoptado se aparta deliberadamente de una evaluación coste-beneficio tradicional al excluir los ingresos y costes privados de la actividad, con el fin de aislar y cuantificar el valor público generado por el pastoreo extensivo trashumante. Esta decisión metodológica permite evitar solapamientos entre rentabilidad privada y externalidades positivas, y facilita una lectura clara del papel de la trashumancia como proveedora de bienes públicos.

El modelo propuesto integra tres componentes principales de beneficio social: la reducción esperada de daños por incendios forestales mediante la gestión del combustible, el beneficio climático derivado de las emisiones evitadas y la contribución a la conservación de la biodiversidad. Su aplicación empírica se realiza sobre distintas tipologías de uso del suelo —puertos de montaña, dehesas y rastrojeras— combinando análisis de casos individuales con una valoración agregada a escala territorial mediante la denominada zona H. Esta última permite capturar beneficios de carácter sistémico que emergen únicamente cuando la trashumancia se considera como un sistema continuo de manejo del territorio y no como un conjunto de actuaciones aisladas.

La estructura del trabajo es la siguiente. Tras la presentación del marco conceptual y metodológico del modelo, se describen las fuentes de información y los supuestos adoptados para la valoración económica. A continuación, se presentan los resultados de la aplicación empírica, primero a nivel de unidades espaciales individuales y posteriormente a escala agregada. Finalmente, se discuten las implicaciones económicas y territoriales de los resultados obtenidos, se plantean posibles extensiones del modelo hacia una valoración integrada de beneficios públicos y privados, y se extraen conclusiones relevantes para el diseño de políticas de gestión del territorio, prevención de incendios y mitigación del cambio climático.

Glosario de variables y funciones

Este glosario recoge las variables y funciones empleadas en la valoración de los servicios ecosistémicos asociados al sistema trashumante que recogemos en nuestro modelo, con indicación de las unidades utilizadas (ha, UGM, kg MS, € etc...) cuando corresponda.

p Índice que identifica una zona de pastoreo (puerto de montaña o dehesa).

$A_{p,t}$ Superficie total de la zona p durante la campaña t (ha).

$B_{p,t}$ Biomasa disponible en la zona p durante la campaña t (kg MS/ha).

$SR_{p,t}$ Carga ganadera sostenible en la zona p durante la campaña t (UGM/ha).

$D_{p,t}$ Número de días de estancia del rebaño en la zona p durante la campaña t (día).

α Consumo diario de materia seca por unidad de ganado mayor (kg MS/UGM·día).

$b_{0,p,t}$ Probabilidad básica anual de incendio en la zona p durante la campaña t.

$\mathbf{GRAZ}_{p,t}$ Biomasa efectivamente consumida por el ganado en la zona p durante la campaña t (kg MS/ha).

ϕ Parámetro de sensibilidad que mide el efecto de la biomasa efectivamente pastada sobre la reducción del riesgo de incendio. Controla la intensidad con la que el pastoreo extensivo reduce la probabilidad de incendio en el modelo de incendios (ha/kg MS).

$\pi_{p,t}$ Probabilidad efectiva de incendio en la zona p durante la campaña t en presencia de pastoreo extensivo, obtenida a partir del riesgo basal $b_{0,p,t}$ ajustado por la reducción de biomasa asociada al pastoreo.

$A_{p,t}^{\mathbf{sin}}$ Área esperada afectada por incendios en la zona p en ausencia de pastoreo extensivo durante la campaña t (ha).

$A_{p,t}^{\mathbf{con}}$ Área esperada afectada por incendios en la zona p en presencia de pastoreo extensivo durante la campaña t (ha).

$\Delta A_{p,t}$ Superficie de incendio evitada gracias al pastoreo en la zona p durante la campaña t (ha):

$e_{\mathbf{fire},p,t}$ Emisiones potenciales asociadas a un incendio en la zona p durante la campaña t (tCO_2e/ha).

$EM_{\mathbf{evit},p,t}$ Emisiones de gases de efecto invernadero evitadas en la zona p como consecuencia de la reducción del área esperada afectada por incendios gracias al pastoreo extensivo durante la campaña t (tCO_2e).

$C_{\mathbf{fire},p,t}$ Coste económico total por hectárea asociada a un incendio en la zona p durante la campañat (€/ha).

$\Delta C_{\mathbf{fire},p,t}$ Coste económico de incendios evitado en la zona p durante la campaña t (€/año), resultado de la reducción de superficie quemada

$P_{\mathbf{CO_2},t}$ Precio social del Carbono, utilizado para monetizar las emisiones evitadas de CO_2, medido en (€/tCO_2e)

$V_{\mathbf{clima},p,t}$ Valor económico de las emisiones evitadas en la zona p durante la campaña t (€), obtenido mediante la monetización del CO_2 equivalente evitado.

$v_{\mathbf{biodiv},p,t}$ Valor unitario anual de biodiversidad asociado a la zona p durante la campaña t (€/ha).

$V_{\mathbf{biodiv},p,t}$ Valor económico total de biodiversidad asociado a la zona p durante la campaña t (€).

$BS_{p,t}$ Beneficio social anual total asociado a la zona p durante la campaña t (€).

1. Metodología general

El presente informe, adopta una metodología de modelización aplicada y estudio de casos orientada a cuantificar el valor público (externalidades positivas) de la trashumancia ovina en términos de (i) prevención de incendios, (ii) mitigación climática por emisiones evitadas y (iii) mantenimiento de biodiversidad, excluyendo deliberadamente la dimensión de rentabilidad privada (costes e ingresos de la explotación) para aislar el componente social del valor generado.

1.1. Enfoque metodológico y justificación

La naturaleza del objeto de estudio -un sistema territorial complejo, con fuerte heterogeneidad biofísica, alta dependencia del contexto ecológico y espacial, y ausencia de series homogéneas de datos de alta resolución para todos los procesos implicados- hace que no sea metodológicamente apropiado plantear el trabajo como una investigación basada en "gran muestraz explotación estadística intensiva (p. ej., modelos econométricos, inferencia poblacional, aprendizaje automático o diseños experimentales).

En este caso la evidencia empírica disponible no está diseñada para inferencia estadística generalizable: los datos observados provienen de calendarios y superficies efectivamente utilizadas por rebaños concretos, sin muestreo probabilístico ni replicación suficiente. En este caso, la posible pregunta que subyace en la investigación no está relacionada con la estimación de parámetros poblacionales, sino con la cuantificación y posible descomposición de un valor social que normalmente queda invisibilizado por el sistema de precios compatible con la economía ambiental y la lógica de lo que son las externalidades públicas.

El presente trabajo se apoya en un modelo económico estructural y parsimonioso, coherente con la tradición de la economía del bienestar y de la economía ambiental aplicada, cuyo objetivo es identificar y cuantificar externalidades positivas generadas por una actividad productiva que no se reflejan en el sistema de precios. La parsimonia se adopta como criterio metodológico para garantizar la coherencia analítica y la interpretabilidad económica del modelo, priorizando la representación explícita de los mecanismos fundamentales de generación de valor social frente a la incorporación de complejidad econométrica no respaldada por la naturaleza de los datos.

En este contexto, la literatura económica avala el empleo de modelos parsimoniosos y calibrados como herramienta idónea para la valoración de externalidades, el análisis comparativo de escenarios y la estimación de beneficios sociales, siempre que los supuestos sean explícitos y los parámetros mantengan coherencia económica y ecológica. Este enfoque permite aislar el componente de valor público generado por la actividad analizada, evitando problemas de sobreajuste y preservando la consistencia interna del análisis, en línea con los principios de la economía ambiental y de la teoría microeconómica aplicada (William J. Baumol ; Wallace E. Oates; Andreu Mas-Colell).

La aplicación de estos tipos de modelos permite traducir variables observables del manejo (superficie, carga ganadera, días de estancia) en una medida física operativa de pastoreo efectivo (biomasa retirada). Además, facilita la evaluación de diferencias esperadas entre un escenario çon pastoreoz un contrafactual de .ªbandono del pastoreo", evitando interpretar resultados como predicción determinista de incendios concretos. Adicionalmente permite monetizar impactos mediante parámetros de referencia (costes de incendio, precio social del carbono, valores unitarios de biodiversidad) para estimar beneficios sociales comparables entre tipologías de territorio.

1.2. Diseño del estudio: casos reales + instrumento sistémico (Zona H)

El diseño combina:

- Unidades espaciales reales (puertos, dehesas y rastrojeras) tratadas como "zonasïndependientes dentro del modelo, permitiendo comparar cómo cambia el beneficio social según tipología y características del territorio.
- Un escenario homogéneo de referencia (Zona H), que no es una unidad territorial real ni una "muestra adicional", sino una construcción analítica para identificar efectos sistémicos y no aditivos (no linealidades, composición espacial, escalas).

Este componente es metodológicamente clave: cuando el modelo es no lineal, la suma de resultados locales puede no coincidir con el resultado agregado bajo parámetros medios. La Zona H permite, por tanto, mostrar por diseño que el valor público de la trashumancia emerge también de la organización espacial y funcional, no solo de la suma mecánica de enclaves.

1.3. Modelo: estructura y lógica de identificación

La metodología se implementa mediante un modelo modular con tres bloques:

(a) Producción física del pastoreo. Se calcula la biomasa efectivamente retirada (pastoreo efectivo) a partir de la superficie, la biomasa disponible, la carga ganadera sostenible, los días de estancia y elconsumo por UGM, imponiendo una restricción explícita de sostenibilidad (el consumo no puede exceder la biomasa disponible).

(b) Prevención de incendios y componente climática. Se define un riesgo basal y se ajusta mediante una función decreciente en el pastoreo efectivo (con parámetro de sensibilidad global), obteniendo:

- la superficie esperada quemada con y sin pastoreo,
- el daño económico evitado,
- las emisiones evitadas y su monetización mediante un precio sombra del carbono.

(c) Biodiversidad Se asigna un valor unitario anual por hectárea que captura, de manera deliberadamente prudente, el beneficio social asociado al mantenimiento de hábitats abiertos y mosaico agroforestal bajo pastoreo extensivo. La identificación en este trabajo no es estadística (no busca estimar .efectos causalesçon p-valores), sino estructural y comparativa: el valor se define como la diferencia esperada entre escenarios, manteniendo coherencia interna de supuestos y evitando dobles contabilizaciones entre componentes.

1.4. Datos, fuentes y estrategia de parametrización

Los insumos se clasifican en dos grupos metodológicos:

1. **Datos observados**: superficies utilizadas, días de estancia, tamaños de rebaño y estructura espacial del sistema, incorporados sin transformaciones ad hoc.
2. **Parámetros estimados o calibrados**: biomasa disponible, riesgo basal, emisiones por hectárea quemada, valores unitarios de biodiversidad, costes por hectárea de incendio y precio social del carbono.

La parametrización sigue criterios jerárquicos explícitos:

- Consistencia ecológica (compatibilidad con vegetación, clima y uso del suelo).
- Coherencia relativa (las diferencias entre zonas reflejan gradientes reales y no ajustes oportunistas).
- Simplicidad operativa (cuando varias opciones son equivalentes en impacto marginal, se elige la más transparente).

Además, para evitar sobreajuste, Se fijan valores homogéneos por tipología para ciertos parámetros (p. ej., costes por incendio), de modo que la comparación se centre en diferencias biofísicas y de manejo, no en heterogeneidad no observada.

2. Modelo de producción física

Esta sección describe el modelo físico que permite caracterizar el uso del territorio por parte del sistema trashumante durante una campaña anual. El objetivo no es modelizar la dinámica ecológica completa de los ecosistemas, sino establecer un marco coherente que permita cuantificar la interacción entre ganado, biomasa disponible y superficie de pastoreo, como base para la posterior valoración de los servicios ecosistémicos asociados.

2.1. Superficie y biomasa disponible

Cada zona de pastoreo p se caracteriza por una superficie total $A_{p,t}$ (ha) y una biomasa disponible media durante la campaña t, denotada por $B_{p,t}$ (kg de materia seca por hectárea). Esta biomasa representa tanto el recurso forrajero potencial para el ganado como la carga de combustible vegetal susceptible de arder en caso de incendio. Por lo tanto, $B_{p,t}$ se interpreta como disponibilidad física de combustible/pasto, material consumible por el ganado.

Los valores de $B_{p,t}$ se interpretan como estimaciones medias representativas de la campaña considerada, integrando las condiciones ecológicas propias de cada zona (tipo de vegetación, clima, manejo previo) sin introducir una dinámica intertemporal explícita de regeneración de biomasa entre campañas.

2.2. Carga ganadera y estancia del rebaño

El uso del territorio por parte del ganado se describe mediante la carga ganadera sostenible $SR_{p,t}$ (UGM/ha) y el número de días de estancia del rebaño en la zona p durante la campaña t, denotado por $D_{p,t}$.

El parámetro $SR_{p,t}$ representa la intensidad máxima de pastoreo compatible con el mantenimiento del ecosistema a medio plazo, evitando procesos de degradación del suelo o pérdida significativa de cobertura vegetal.

2.3. Consumo de biomasa y pastoreo efectivo

El consumo diario de biomasa por unidad de ganado mayor se denota por α (kg MS/UGM·día). A partir de este parámetro, la biomasa potencialmente consumida por hectárea durante la campaña sería:

$$SR_{p,t} \cdot D_{p,t} \cdot \alpha.$$

Sin embargo, el consumo efectivo de biomasa no puede exceder la biomasa disponible en la zona. Por ello, la biomasa efectivamente retirada por el pastoreo, $\mathrm{GRAZ}_{p,t}$ (kg MS/ha), se define como:

$$\mathrm{GRAZ}_{p,t} = \min\left(B_{p,t}, SR_{p,t} \cdot D_{p,t} \cdot \alpha\right).$$

Esta formulación garantiza que el modelo describe un uso ecológicamente sostenible del recurso forrajero, en el que el pastoreo se adapta a la disponibilidad real de biomasa y no fuerza extracciones superiores a la capacidad del ecosistema.

3. Modelo de prevención de incendios y componente climática

Esta sección describe el modelo que permite cuantificar el papel del sistema trashumante en la reducción del riesgo de incendios forestales y en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a dichos incendios. El enfoque se centra en la comparación entre un escenario con pastoreo extensivo y un escenario de abandono del territorio.

3.1. Probabilidad de incendio y superficie quemada

En ausencia de pastoreo, la probabilidad anual de incendio en la zona p se aproxima mediante el riesgo basal $b_{0,p,t}$, que recoge las condiciones estructurales del territorio en términos de continuidad del combustible y exposición al fuego. El área esperada afectada por incendios en este escenario se define como:

$$A_{p,t}^{\text{sin}} = b_{0,p,t} \cdot A_{p,t}.$$

La probabilidad efectiva de incendio bajo pastoreo extensivo se modeliza como una función decreciente de la biomasa retirada por el ganado, que actúa como proxy de la reducción de la carga de combustible vegetal. En concreto, se adopta una formulación exponencial del tipo:

$$\pi_{p,t} = b_{0,p,t} \, \exp\left(-\phi \, GRAZ_{p,t}\right),$$

donde $GRAZ_{p,t}$ representa la biomasa efectivamente consumida o retirada mediante pastoreo extensivo, y ϕ es un parámetro de sensibilidad que captura la eficacia marginal del pastoreo en la reducción del riesgo de incendio. Esta especificación garantiza que, en ausencia de pastoreo ($GRAZ_{p,t} = 0$), la probabilidad efectiva de incendio coincide con el riesgo basal $b_{0,p,t}$, y que aumentos progresivos del pastoreo reducen el riesgo de incendio de forma no lineal y con rendimientos decrecientes.

Cuando el territorio es gestionado mediante pastoreo extensivo, la reducción de la biomasa disponible modifica el riesgo efectivo de incendio, que se representa mediante la probabilidad previamente definida $\pi_{p,t}$. En este caso, el área esperada afectada se expresa como:

$$A_{p,t}^{\text{con}} = \pi_{p,t} \cdot A_{p,t}.$$

La diferencia entre ambos términos permite aproximar el área de incendio evitada gracias al pastoreo extensivo.

$$\Delta A_{p,t} = A_{p,t}^{\text{sin}} - A_{p,t}^{\text{con}} = (b_{0,p,t} - \pi_{p,t}) A_{p,t}.$$

Esta reducción refleja el efecto cortafuegos del pastoreo, derivado de la disminución de la carga de combustible vegetal y de la fragmentación del paisaje.

3.2. Coste económico de los incendios

Se define $C_{\text{fire},p,t}$ como el coste económico directo medio por hectárea quemada en la zona p (€/ha). Este coste recoge fundamentalmente los gastos de extinción y primera respuesta, así como los daños materiales inmediatos asociados al incendio, y depende de factores como la accesibilidad del terreno, la complejidad operativa y el tipo de medios empleados en la extinción.

Los impactos ambientales de medio y largo plazo derivados de los incendios —incluyendo la pérdida de biodiversidad y los efectos climáticos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero— no se incorporan en este término, sino que se valoran de forma explícita y separada en los componentes de biodiversidad y mitigación climática del modelo. Esta separación permite evitar dobles contabilizaciones y facilita la interpretación económica de cada uno de los mecanismos considerados.

En la aplicación empírica del modelo, los valores de $C_{\text{fire},p,t}$ se diferencian por tipo de sistema, adoptándose importes representativos del coste directo de extinción en cada caso: valores más elevados en puertos de montaña, intermedios en dehesas y menores en rastrojeras, de acuerdo con la evidencia disponible sobre costes operativos y condiciones de acceso.

Cabe señalar que esta aproximación es conservadora, en la medida en que no incorpora otros costes sociales indirectos ni daños ambientales de difícil monetización, que, de ser considerados, reforzarían el papel del pastoreo extensivo como herramienta de prevención.

El coste esperado de los incendios en cada escenario se expresa como:

$$C^{\text{sin}}_{\text{fire},p,t} = A^{\text{sin}}_{p,t} \cdot C_{\text{fire},p,t},$$

$$C^{\text{con}}_{\text{fire},p,t} = A^{\text{con}}_{p,t} \cdot C_{\text{fire},p,t}.$$

La diferencia entre ambos valores define el coste de incendios evitado gracias al pastoreo extensivo:

$$\Delta C_{\text{fire},p,t} = C^{\text{sin}}_{\text{fire},p,t} - C^{\text{con}}_{\text{fire},p,t} = C_{\text{fire},p,t} \cdot \Delta A_{p,t}.$$

Este término representa uno de los principales beneficios sociales asociados a la trashumancia, al cuantificar el ahorro económico derivado de la reducción del riesgo y la severidad de los incendios forestales.

3.3. Emisiones asociadas a los incendios

Cada hectárea quemada genera emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en toneladas de CO_2 equivalente[1] por hectárea, $e_{\text{fire},p,t}$ (tCO_2e/ha). Este parámetro depende del tipo de vegetación y de la cantidad de biomasa disponible como combustible.

[1] La unidad tCO_2e permite comparar y sumar gases distintos —principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O)— mediante su *potencial de calentamiento global* (GWP), convirtiéndolos a una escala común.

Las emisiones evitadas gracias al pastoreo se calculan como:

$$EM_{\text{evit},p,t} = \Delta A_{p,t} \cdot e_{\text{fire},p,t}.$$

Estas emisiones representan el volumen de gases de efecto invernadero que no se liberan a la atmósfera como consecuencia de la reducción de superficie quemada atribuible al sistema trashumante.

3.4. Valor climático de las emisiones evitadas

Para monetizar el impacto climático de las emisiones evitadas, hemos considerado un precio social del carbono, denotado por $P_{\text{CO}_2,t}$ (€/tCO_2e). El valor climático asociado a la prevención de incendios en la zona p se define como:

$$V_{\text{clima},p,t} = EM_{\text{evit},p,t} \cdot P_{\text{CO}_2,t}.$$

Este valor no representa un ingreso de mercado, sino una estimación del beneficio social asociado a la mitigación del cambio climático, coherente con los enfoques habituales de evaluación económica ambiental.

3.5. Interpretación

El modelo desarrollado en esta sección permite vincular de forma explícita el pastoreo extensivo con la reducción del riesgo de incendios y con la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. La lógica de la valoración es de carácter comparativo y se basa en la contraposición entre la situación observada de gestión activa del territorio y un escenario alternativo de abandono del pastoreo.

El valor económico no se atribuye al pastoreo extensivo en sí mismo, sino a los costes sociales que se evitan cuando dicho sistema se mantiene operativo, en términos de menor superficie esperada afectada por incendios y menores emisiones asociadas a eventos de fuego. En este sentido, el modelo no pretende predecir la ocurrencia de incendios concretos, sino estimar diferencias esperadas en riesgos y daños entre ambos escenarios.

Esta interpretación permite integrar de forma coherente los componentes de prevención de incendios y mitigación climática dentro de un marco de valoración económica de beneficios sociales evitados, compatible con el resto de componentes del modelo y con el enfoque sistémico adoptado en el trabajo.

4. Modelo de biodiversidad y servicios ecosistémicos

Esta sección describe el modelo empleado para cuantificar la contribución del sistema trashumante a la conservación de la biodiversidad y, de forma más general, a la provisión de servicios ecosistémicos no directamente remunerados por el mercado. El enfoque adoptado es intencionalmente sencillo. No se pretende capturar el valor total de la biodiversidad

—objetivo inalcanzable dada la naturaleza en gran medida intangible de muchos de sus componentes—, sino identificar y valorar un efecto concreto y bien definido del pastoreo extensivo: el mantenimiento de hábitats abiertos y del mosaico agroforestal que caracteriza a estos sistemas.

4.1. Fundamentos conceptuales

El abandono del pastoreo en zonas de montaña y dehesa suele conducir a procesos de matorralización y homogeneización del paisaje, con efectos negativos sobre la diversidad de especies vegetales y animales. El pastoreo extensivo, por el contrario, contribuye a mantener una estructura heterogénea del territorio, favoreciendo la coexistencia de distintos hábitats y aumentando la resiliencia ecológica del sistema.

Desde el punto de vista económico, estos efectos positivos no se traducen en ingresos privados para el ganadero, pero sí generan beneficios sociales relevantes. En este modelo, dichos beneficios se interpretan como un servicio ecosistémico de conservación de la biodiversidad.

4.2. Valoración económica de la biodiversidad

Para cada zona de pastoreo p, se asigna un valor unitario de biodiversidad $v_{\text{biodiv},p,t}$ (€/ha·año), que representa el beneficio social anual asociado al mantenimiento de hábitats abiertos y seminaturales mediante el pastoreo extensivo.

Este valor sintetiza, en un único parámetro, distintos efectos ecológicos:

- conservación de comunidades vegetales ligadas al pastoreo,
- mantenimiento de hábitats favorables para fauna silvestre,
- preservación del mosaico paisajístico y de su conectividad ecológica.

El parámetro $v_{\text{biodiv},p,t}$ puede variar entre zonas en función de sus características ecológicas, grado de protección ambiental o sensibilidad a los procesos de abandono.

La literatura sobre valoración de servicios ecosistémicos reconoce que los servicios derivados de la estructura del paisaje y de la conservación de hábitats seminaturales pueden monetizarse en términos de beneficios sociales anuales por unidad de área, y que estos suelen estar en rangos de varias decenas de euros por hectárea para pastos y sistemas agro-silvo-pastorales. Los trabajos de TEEB y estudios de servicios ecosistémicos en agroecosistemas europeos son marcos apropiados para situar estos valores (véase [9], [1],.

El valor total de biodiversidad generado en la zona p durante la campaña t se calcula como:

$$V_{\text{biodiv},p,t} = A_{p,t} \cdot v_{\text{biodiv},p,t},$$

donde $A_{p,t}$ es la superficie total pastoreada en la zona (ha).

El valor unitario adoptado no debe interpretarse como un beneficio marginal en el sentido microeconómico clásico, asociado a variaciones infinitesimales de las variables. En este trabajo, el término se utiliza en un sentido discreto e institucional, para referirse al beneficio

adicional que se genera cuando una hectárea se mantiene bajo un régimen de pastoreo extensivo frente a un escenario alternativo de abandono o de manejo no extensivo.

Esta interpretación es coherente con el enfoque general del modelo, basado en la comparación entre escenarios con y sin pastoreo, y permite mantener una lectura homogénea del concepto de beneficio a lo largo de los distintos componentes analizados.

5. Síntesis del modelo teórico

Las secciones anteriores han desarrollado de forma detallada los distintos bloques que componen el modelo: producción física del pastoreo y valoración de los beneficios sociales ecosistémicos asociados a la trashumancia (prevención de incendios, beneficio climático y biodiversidad). En esta sección se presenta una síntesis integrada del modelo teórico, con el objetivo de clarificar su estructura general, sus supuestos fundamentales y el encaje de cada componente dentro del marco analítico global.

5.1. Estructura general del modelo

El modelo se concibe como un sistema modular que describe el funcionamiento del pastoreo extensivo en una zona p durante una campaña t. A partir de un conjunto reducido de variables físicas observables (superficie, biomasa, cabezas de ganado y días de estancia), el modelo permite estimar:

- la intensidad real de uso del territorio mediante el pastoreo,
- los beneficios sociales derivados de la provisión de servicios ecosistémicos.

El punto de partida del modelo es la caracterización física del sistema de pastoreo. La biomasa disponible en cada zona y el consumo asociado al ganado determinan la cantidad de materia vegetal efectivamente retirada del territorio durante la campaña.

El modelo impone explícitamente una restricción de sostenibilidad, de modo que la biomasa consumida no puede superar ni la biomasa disponible ni el umbral compatible con la carga ganadera sostenible. Este supuesto refleja un manejo responsable del recurso forrajero y evita introducir dinámicas de degradación del pasto en el análisis.

Con este modelo se cuantifican los beneficios sociales generados por la trashumancia, interpretados como servicios ecosistémicos. En particular, se consideran tres grandes componentes:

- la reducción del riesgo y del coste esperado de los incendios forestales,
- la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones asociadas a incendios evitados,
- la conservación de la biodiversidad y del mosaico de hábitats ligados al pastoreo extensivo.

Cada uno de estos servicios se valora de forma separada, empleando parámetros económicos coherentes con la literatura y evitando dobles contabilizaciones.

5.2. Beneficio social

De acuerdo con el enfoque adoptado en este trabajo, el beneficio social en una zona p se define exclusivamente como la suma de los beneficios sociales ecosistémicos monetizados asociados a la trashumancia:

$$BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t}.$$

Esta magnitud permite comparar la contribución del sistema trashumante en términos de valor público generado, así como aproximar el coste social asociado a escenarios de abandono del manejo extensivo.

El modelo que se propone no tiene un carácter normativo ni optimizador, sino descriptivo y comparativo, y no pretende identificar niveles óptimos de pastoreo, sino estimar el valor social asociado al mantenimiento de sistemas extensivos frente a escenarios de abandono.

5.3. Criterios y datos para la aplicación del modelo

Establecemos a continuación un puente entre el modelo teórico desarrollado en las secciones anteriores y su aplicación a los casos concretos analizados. Su objetivo no es presentar resultados, sino explicitar de forma transparente los criterios seguidos para seleccionar los datos, fijar los parámetros y adaptar el modelo general a las condiciones reales de los sistemas trashumantes considerados.

El modelo se aplica bajo un principio fundamental de coherencia interna: todos los parámetros y variables utilizados en la aplicación empírica deben tener una interpretación clara dentro del marco teórico previamente definido y un significado operativo consistente con la realidad del sistema.

En consecuencia, la aplicación del modelo se realiza sin introducir variables adicionales ni ajustes ad hoc que no estén explícitamente justificados por su estructura o por la naturaleza de los datos disponibles.

5.4. Unidades espaciales de análisis

La aplicación del modelo se realiza sobre dos tipos de unidades espaciales:

- los **puertos de montaña**, utilizados durante el periodo estival,
- las **dehesas de invernada**, localizadas en zonas de clima más benigno.

Cada unidad espacial se trata como una zona p independiente dentro del modelo, con sus propios parámetros físicos, productivos y ambientales. Esta distinción permite respetar las diferencias estructurales entre ambos sistemas sin introducir discontinuidades metodológicas.

5.5. Datos observados y datos estimados

Los datos utilizados en la aplicación del modelo pueden agruparse en dos grandes categorías:

- **Datos observados o directamente conocidos**, como el número de cabezas de ganado, los días de estancia en cada zona o la superficie utilizada.
- **Datos estimados o parametrizados**, necesarios para representar procesos ecológicos y ambientales no observables de forma directa (biomasa disponible, riesgo de incendio, emisiones potenciales, valor unitario de biodiversidad).

Los primeros se incorporan al modelo sin transformación adicional. Los segundos se fijan dentro de rangos plausibles y coherentes con la literatura técnica y con el conocimiento experto del territorio.

5.6. Criterios de parametrización

La fijación de parámetros estimados sigue tres criterios jerárquicos:

1. **Consistencia ecológica**: los valores deben ser compatibles con el tipo de vegetación, el clima y el uso del suelo de cada zona.
2. **Coherencia relativa**: las diferencias entre zonas deben reflejar gradientes reales (altitud, productividad, riesgo de incendio), evitando introducir contrastes artificiales.
3. **Simplicidad operativa**: cuando varios valores producen efectos marginales similares en los resultados, se opta por la opción más simple y transparente.

Este enfoque permite mantener un equilibrio entre realismo ecológico y robustez analítica, evitando una complejidad innecesaria que no mejoraría la capacidad explicativa del modelo.

5.7. Escenario homogéneo de referencia estructural del modelo

Además de las zonas reales, se define un escenario homogéneo de referencia (Zona H). La zona H no representa una unidad territorial real, sino una construcción analítica que actúa como referencia estructural para el análisis del modelo. Su objetivo es permitir la comparación entre la configuración espacial observada del sistema trashumante y un escenario agregado en el que se homogeneizan superficies, riesgos y valores ecológicos, proporcionando una referencia de comportamiento medio bajo parámetros uniformes.

Los parámetros de la Zona H se calculan de acuerdo con la naturaleza de cada variable:

- medias ponderadas por superficie para variables intensivas por hectárea,

- medias ponderadas por número de cabezas para variables ligadas al ganado,
- sumas directas para magnitudes agregadas.

La zona H genera un resultado cuantitativo comparable con los obtenidos para las zonas reales, si bien dicha comparabilidad debe entenderse en términos analíticos y no territoriales. La comparación entre las zonas reales y la Zona H permite analizar el papel de la heterogeneidad espacial y evaluar hasta qué punto la distribución de superficies, riesgos y valores ecológicos modula el beneficio social total asociado a la trashumancia.

La valoración correspondiente a la Zona H no debe interpretarse como un término adicional que se sume directamente al beneficio social ecosistémico calculado para las zonas reales, sino como un instrumento de lectura que pone de manifiesto la existencia de efectos sistémicos y no aditivos. En particular, permite identificar situaciones en las que la heterogeneidad espacial amplifica o atenúa el beneficio social agregado respecto a un escenario homogéneo de referencia.

La inclusión de la Zona H refuerza así el carácter sistémico del modelo y subraya que el valor social de la trashumancia no depende únicamente de la suma de valores locales, sino también de su organización espacial y funcional.

5.8. Alcance de la aplicación

El modelo propuesto no pretende capturar todas las dimensiones ecológicas, económicas o sociales de la trashumancia. Su objetivo es proporcionar una herramienta cuantitativa coherente para estimar el beneficio social, cuantificado económicamente, asociado al pastoreo extensivo valorando:

- la prevención de incendios forestales,
- la mitigación del cambio climático,
- la conservación de la biodiversidad.

Otros aspectos económicos o sociales del sistema ganadero, aunque pudieran ser relevantes en otros contextos, no forman parte del objetivo principal del estudio. Aun adoptando un enfoque estático por campaña, no se incorporan dinámicas intertemporales de regeneración de la biomasa o cambios estructurales en los ecosistemas por cubrir dos campañas consecutivas, lo que hace que las posibles variaciones no sean demasiado relevantes en nuestra valoración económica. Estas extensiones se pueden convertir en líneas de trabajo futuras, pero su inclusión no es necesaria para responder a la pregunta central que motiva este estudio.

6. Aplicación empírica del modelo: valoración ecosistémica de la trashumancia por zonas

Esta sección presenta los resultados de la aplicación del modelo de valoración ecosistémica a las distintas zonas incluidas en el estudio, distinguiendo entre puertos de montaña y

dehesas de invernada, y considerando separadamente los años 2024 y 2025 cuando procede.

El objetivo no es describir la actividad ganadera desde un punto de vista productivo, sino cuantificar y analizar los servicios ecosistémicos asociados al pastoreo extensivo, en particular la prevención de incendios forestales, la mitigación del cambio climático y el mantenimiento de la biodiversidad. Por diseño, esta versión del análisis excluye explícitamente cualquier componente de beneficio o coste privado de la explotación.

La aplicación empírica no pretende evaluar la eficiencia relativa de cada enclave, sino ilustrar cómo la heterogeneidad territorial modula la magnitud y composición del beneficio social generado por la trashumancia.

6.1. Zonas de estudio y estructura del análisis

El ámbito de estudio comprende dos tipos de espacios funcionalmente complementarios dentro del sistema trashumante:

- **Puertos de montaña**, utilizados durante el periodo estival, caracterizados por pastos de alta montaña, elevada estacionalidad y un papel especialmente relevante en la prevención de incendios.
  - Puerto de Las Pintas, Salamón, León (2024 y 2025),
  - Puerto de Piedrahita, Vidrieros, Palencia (2024 y 2025),
  - Puerto de Peñalba, Aguasalio y el Venero, Valverde de la Sierra, León (2024 y 2025),
  - Puerto de Cueva Grande y otros, Villanueva de la Peña, Cantabria (2024 y 2025),
  - Puerto de Regadas, Lumajo, León (2025),
  - Puerto de las Argajadas, Villargusán, León (2024 y 2025),
  - **Zona H (escenario homogéneo de referencia)**.
- **Dehesas de invernada**, situadas en áreas de baja altitud, utilizadas durante el periodo invernal, con mayor estabilidad productiva y menor riesgo de incendio, pero con un papel relevante en el mantenimiento de sistemas agro-silvopastorales.
  - Dehesa en Santa Olalla del Cala, Huelva (2024 y 2025),
  - Dehesas en Cabeza del Buey, Badajoz (2024) (dos rebaños distintos en esa campaña),
  - Dehesa en Torrejón El Rubio, Cáceres (2025),
  - Dehesa en Cáceres (2024 y 2025),
  - Dehesa en Hernán-Pérez, Cáceres (2024 y 2025),
  - Rastrojeras de León (2024 y 2025),
  - **Zona H (escenario homogéneo de referencia)**.

Para cada tipo de zona se aplica el mismo marco conceptual y las mismas expresiones del modelo, adaptando únicamente los valores de los parámetros biofísicos y de riesgo a las características específicas de cada territorio.

El análisis se estructura de forma homogénea para todas las zonas, lo que permite la comparación directa de resultados entre puertos, entre dehesas y frente al escenario de referencia homogéneo descrito más adelante.

6.2. Calibración de parámetros y coherencia con la evidencia empírica

Los parámetros utilizados en la valoración ecosistémica se han seleccionado siguiendo un criterio de coherencia interna del modelo y de compatibilidad con rangos habituales recogidos en la literatura técnica y en la práctica de la gestión ganadera extensiva.

En la práctica, se distinguen (i) parámetros observados y facilitados por la propiedad, (ii) parámetros de referencia homogéneos por tipología para garantizar comparabilidad, y (iii) parámetros calibrados dentro de rangos técnicos para reflejar heterogeneidad biofísica sin introducir ajustes ad hoc

En particular:

- Las **superficies** $A_{p,t}$ que han sido utilizadas son las facilitadas por la propiedad de los rebaños,
- El **consumo por UGM** α (kg MS/UGM-día) se ha fijado en un rango compatible con la literatura zootécnica para ovino extensivo, ajustándolo a las condiciones de desplazamiento y al esfuerzo asociado al aprovechamiento de los distintos tipos de pasto. El consumo diario de biomasa por UGM se mantiene constante dentro de cada tipo de espacio (puertos o dehesas), como aproximación conservadora y operativamente manejable.
- La **duración de la estancia** $D_{p,t}$ (días) refleja los calendarios tradicionales de trashumancia y los periodos en los que la calidad del pasto es adecuada, teniendo en cuenta las limitaciones climáticas de los puertos de montaña. Son datos facilitados por la propiedad de los rebaños.
- Las **tasas base de área quemada** $b_{0,p,t}$ se han fijado de modo que los valores reflejen diferencias de riesgo intrínseco entre zonas más expuestas (matorral denso, pendientes acusadas) y zonas con menor probabilidad de ignición.
- La **probabilidad efectiva de incendio con pastoreo** $\pi_{p,t}$ se obtiene endógenamente a partir del riesgo basal $b_{0,p,t}$ y de la reducción de combustible fino asociada al consumo del rebaño. En particular, se adopta una relación decreciente en la biomasa retirada $\mathrm{GRAZ}_{p,t}$, de forma que $\pi_{p,t} \leq b_{0,p,t}$, y el efecto del pastoreo queda regulado por un parámetro global de sensibilidad ϕ. Para evitar sobreajustes por zona, ϕ se mantiene constante en todas las zonas y campañas, lo que garantiza que las diferencias en $\pi_{p,t}$ provengan de la intensidad efectiva de pastoreo y de las condiciones biofísicas capturadas por $b_{0,p,t}$. En la aplicación empírica se utiliza la forma

funcional

$$\pi_{p,t} = b_{0,p,t}\,\exp(-\phi\,\mathrm{GRAZ}_{p,t}),$$

que garantiza $\pi_{p,t} \leq b_{0,p,t}$ y una reducción convexa del riesgo con la intensidad de pastoreo.

- El **valor de referencia** C_{fire} se establece por tipología de zona. En el modelo, $C_{\text{fire},p,t}$ aproxima el daño económico social medio por hectárea afectada por incendio. Para garantizar comparabilidad y evitar calibraciones ad hoc, se fija un valor homogéneo por tipología: $C_{\text{fire}}^{\text{puerto}} = 25.000\,€/\text{ha}$, $C_{\text{fire}}^{\text{dehesa}} = 15.000\,€/\text{ha}$ y $C_{\text{fire}}^{\text{rastrojera}} = 7.000\,€/\text{ha}$. El valor de puertos es mayor por su mayor severidad potencial, regeneración más lenta y mayores daños indirectos; en dehesas se adopta un valor inferior por su estructura abierta y mayor accesibilidad, aunque con daño social relevante; en rastrojeras, dominadas por combustible fino y con baja persistencia del impacto, se utiliza el valor más bajo. Este diseño por tipologías evita introducir heterogeneidad no observada en costes (p. ej., decisiones operativas, disponibilidad de medios aéreos) y centra la comparación en diferencias biofísicas y de manejo, que es el objetivo del trabajo.

- El **valor de biodiversidad por hectárea** $v_{\mathbf{biodiv},p,t}$ (€/ha.año) se ha calibrado tomando como referencia estudios de valoración de pastos seminaturales europeos (TEEB, entre otros), asignando valores diferenciados según la importancia relativa de cada zona como nodo de biodiversidad en el paisaje. Estos valores recogen la importancia ecológica relativa de los distintos territorios. Los valores adoptados para $v_{\text{biodiv},p,t}$ se sitúan deliberadamente en un rango prudente, coherente con estimaciones empleadas en políticas agroambientales y estudios de valoración de servicios ecosistémicos parciales en sistemas de pastoreo extensivo. Conviene subrayar que estos valores no representan el valor total de la biodiversidad, sino únicamente la contribución específica del pastoreo al mantenimiento de hábitats abiertos y del mosaico agroforestal. En este sentido, la aproximación adoptada prioriza la comparabilidad y la robustez frente a la exhaustividad.

- El **parámetro de emisiones potenciales por incendio** $e_{\mathbf{fire},p,t}$ ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$) representa las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a una hectárea *efectivamente quemada* en la zona p, y no a la superficie total del territorio. Su valor recoge la cantidad de biomasa aérea susceptible de combustión, así como la intensidad esperada del incendio y la velocidad de regeneración del ecosistema. En consecuencia, se adoptan valores más elevados en sistemas con alta acumulación de combustible fino y regeneración lenta (puertos de montaña), valores intermedios en sistemas abiertos con arbolado disperso (dehesas), y valores más bajos en rastrojeras cerealistas, donde el combustible es de corta duración y el impacto climático del incendio es limitado. Esta parametrización permite capturar diferencias estructurales entre tipologías sin introducir heterogeneidad adicional no observada.

- El **precio (sombra) del carbono** $P_{\text{CO}_2,t}$, se considera constante en el horizonte de análisis (campañas 2024 y 2025) para evitar introducir volatilidad exógena en la comparación entre zonas. En la aplicación empírica se adopta $P_{\text{CO}_2,t} = 50\,€/\text{tCO}_2\text{e}$, que se sitúa en el tramo bajo de los valores sombra utilizados en marcos europeos de política climática, por lo que debe interpretarse como una aproximación prudente.

Por transparencia, la asignación cualitativa y los valores adoptados se resumen en la Tabla 1, y se describen por zona en las fichas de resultados.

El parámetro $b_{0,p,t}$ representa la probabilidad anual basal de incendio en ausencia de pastoreo y recoge las condiciones estructurales del territorio en términos de continuidad del combustible, exposición climática y accesibilidad para la extinción. En el caso de los puertos de montaña, este riesgo basal no puede considerarse homogéneo, ya que depende de la posición altitudinal, del régimen climático (atlántico frente a transición continental), de la presencia relativa de matorral y pastizal, y del grado de aislamiento del sistema.

En consecuencia, el modelo adopta una asignación diferenciada de $b_{0,p,t}$ dentro de la tipología "puertos", evitando el uso de valores propios de sistemas mediterráneos o dehesas abiertas. Los valores se fijan dentro de un rango coherente con sistemas de montaña (0,01–0,05), distinguiendo entre puertos de carácter más atlántico y húmedo, con menor continuidad de combustible fino seco, y puertos de transición o con mayor componente de matorral, donde el riesgo basal es más elevado.

Este criterio permite mantener la comparabilidad interna del modelo, evita infravalorar el beneficio social asociado a la prevención de incendios en determinados puertos y garantiza que las diferencias en los resultados provengan de los parámetros biofísicos y de uso del territorio, y no de una infraestimación ex ante del riesgo basal. Los valores adoptados para cada zona se resumen en la Tabla 3.

Cuando no se dispone de información diferenciada entre 2024 y 2025, se adopta el mismo valor paramétrico para ambos años, de modo que las posibles diferencias en los resultados se deben únicamente a cambios en el tamaño del rebaño o en la distribución espacial del sistema.

Tabla 1: Tipología de zonas y clasificaciones cualitativas.

Zona	**Tipología biofísica**	$b_{0,p,t}$	$v_{\text{biodiv},p,t}$	$e_{\text{fire},p,t}$
Las Pintas	Alta montaña, transición cantábrica	medio-alto	medio	alto
Piedrahita	Alta montaña atlántica	medio	medio	medio-alto
Peñalba	Puerto de verano atlántico	bajo-medio	alto	medio
Cueva Grande	Montaña con matorral y pastizal	medio-alto	bajo-medio	alto
Regadas	Montaña atlántica húmeda	bajo	alto	medio
Las Argajadas	Montaña de transición continental	bajo	medio-alto	medio
Santa Olalla Cala	Dehesa mixta	medio	alto	medio-alto
Cabeza del Buey	Dehesa interior	medio	alto	medio
Torrejón el Rubio	Dehesa mixta	medio	alto	medio-alto
Cáceres	Dehesa mixta	medio-bajo	medio-alto	medio
Hernán-Pérez	Dehesa serrana	medio	alto	medio
Rastrojera León	Rastrojera cerealista	bajo	bajo	bajo

Tabla 2: Parámetros globales del modelo (comunes a todas las zonas).

Parámetro	**Valor**	**Criterio / uso en el modelo**
$P_{\mathrm{CO}_2,t}$	50 €/tCO_2e	Precio sombra del carbono.
ϕ	0.01	Parámetro global de sensibilidad pastoreo–incendios.
α (puertos)	2 kg MS/(UGM·día)	Conversión intensidad de carga y días en pastoreo efectivo en puertos.
α (dehesas)	1.8 kg MS/(UGM·día)	Análogo para dehesas.

Tabla 3: Parámetros seleccionados por zona (sin diferenciar años ni rebaños).

Zona	$B_{p,t}$	$SR_{p,t}$	$b_{0,p,t}$	$e_{\mathrm{fire},p,t}$	$C_{\mathrm{fire},p,t}$	$v_{\mathrm{biodiv},p,t}$
Las Pintas (Salamón)	1500	0.5	0.05	50	25000	30
Piedrahita (Vidrieros)	1800	0.4	0.03	60	25000	24
Peñalba (Valverde de la Sierra)	1200	0.6	0.02	40	25000	36
Cueva Grande (Villanueva de la Peña)	2000	0.4	0.040	55	25000	18
Regadas (Lumajo)	1000	0.7	0.01	45	25000	34
Argajadas	1000	0.7	0.01	45	25000	34
Santa Olalla del Cala (Huelva)	2300	0.35	0.012	25	15000	26
Cabeza del Buey (Badajoz)	2200	0.32	0.011	28	15000	29
Torrejón el Rubio (Cáceres)	2200	0.31	0.011	30	15000	32
Cáceres (término municipal)	2350	0.33	0.0125	30	15000	28
Hernán-Pérez (Cáceres)	2400	0.34	0.0115	30	15000	30
Rastrojeras de León capital	1100	0.5	0.0060	10	7000	12

6.3. Estructura de las subsecciones por zona

La descripción de resultados para cada zona sigue una estructura común, con el fin de facilitar la lectura y la comparación:

1. enumeración de los parámetros principales utilizados, indicando explícitamente su valor en 2024 y 2025 cuando existe diferencia;
2. cuantificación del coste de incendios evitado;
3. estimación del valor climático asociado a emisiones evitadas;
4. valoración del componente de biodiversidad;
5. cálculo del beneficio social ecosistémico total como suma de las componentes anteriores.

Esta estructura es idéntica para puertos y dehesas, permitiendo interpretar los resultados dentro de un marco analítico único.

6.4. Construcción del escenario homogéneo (Zona H)

Además de las zonas reales, se construye un escenario de referencia homogéneo, denominado **Zona H**, cuyo objetivo es servir como término de comparación agregado.

La Zona H no representa un territorio físico concreto, sino un espacio sintético en el que los parámetros se obtienen como promedios (simples o ponderados, según corresponda) del conjunto de zonas reales. De este modo, la Zona H responde a la pregunta contrafactual de qué valor ecosistémico se obtendría si todo el sistema se comportase como una zona media.

6.5. Resultados por zonas

Vamos a presentar los resultados detallados de la valoración ecosistémica para cada una de las zonas (puertos de montaña, dehesas y rastrojeras) incluidos en el estudio, siguiendo la estructura descrita anteriormente. Puesto que los parámetros utilizados son esencialmente los mismos para los dos años considerados, los resultados para las mismas zonas serán idénticos para las dos campañas. Cuando se da esta circunstancia, se recogen sólo los datos de 2024, porque los de 2025 serán los mismos. Hay zonas que sólo se utilizan una campaña, en incluso dos rebaños comparten zonas casi idénticas (dos dehesas en la misma zona geográfica) que son consideradas distintas, y que arrojan valores distintos debido al número de cabezas de los rebaños. Debido a estas diferencias, la Zona H es distinta para las dos campañas, y por ello recogeremos los datos de ambas campañas que nos sirvan para comparar Los datos que se recogen de los diferentes parámetros se establecen a partir de una clasificación cualitativa de las características generales de los puertos.

6.5.1. Caracterización ecológica general de las zonas consideradas

Puertos de montaña. Los puertos de montaña considerados en el análisis corresponden a pastizales naturales de uso estacional, sometidos a una dinámica de crecimiento herbáceo condicionada por factores climáticos y edáficos propios de la alta montaña, y a un grado variable de presencia de matorral.

La productividad pastoral se evalúa de forma cualitativa en función de la biomasa disponible por hectárea y de la capacidad del sistema para sostener cargas ganaderas extensivas sin degradación, lo que justifica valores diferenciados de $B_{p,t}$ y $SR_{p,t}$. El riesgo de incendio responde principalmente a la continuidad del combustible fino, a la proporción de matorral y a la dificultad de acceso y extinción en entornos de montaña, reflejándose en valores distintos de $b_{0,p,t}$ y de $e_{\text{fire},p}$.

El valor de biodiversidad se asocia al papel de los puertos como hábitats abiertos de interés, a la heterogeneidad estructural inducida por el pastoreo y a su función en la conservación de comunidades vegetales y faunísticas ligadas a sistemas de montaña. Estas diferencias se recogen mediante una clasificación cualitativa común, que permite asignar valores coherentes de $v_{\text{biodiv},p,t}$ a cada puerto sin alterar la estructura del modelo.

La armonización se ha realizado siguiendo criterios biofísicos homogéneos para todos los puertos, atendiendo a la altitud, productividad primaria, continuidad del combustible, heterogeneidad estructural del paisaje y evidencia disponible sobre riesgo histórico de

incendios y valor ecológico de los pastos de montaña.

Dehesas de invernada Las dehesas analizadas constituyen sistemas agroforestales tradicionales utilizados como áreas de invernada dentro del ciclo trashumante. Se caracterizan por la presencia de arbolado disperso, una cobertura herbácea estacional y un manejo ganadero extensivo, lo que da lugar a una productividad pastoral generalmente inferior a la de los puertos estivales y a una mayor necesidad de alimentación complementaria.

La productividad pastoral se clasifica de forma cualitativa en función de la disponibilidad efectiva de pasto y de la duración del aprovechamiento, lo que justifica valores diferenciados de $B_{p,t}$ y SR_p. El riesgo de incendio se considera moderado, condicionado por la fragmentación del combustible y la estructura del arbolado, pero no despreciable en escenarios de sequía prolongada, lo que se refleja en los valores de $b_{0,p,t}$ y $e_{\text{fire},p}$.

El valor de biodiversidad de las dehesas se asocia a la coexistencia de usos ganaderos y forestales, a la diversidad de hábitats y a su papel como sistemas de alto valor natural, lo que justifica niveles de $v_{\text{biodiv},p,t}$ generalmente medios o medio-altos, diferenciados según las características específicas de cada zona.

6.5.2. Rastrojeras

Las rastrojeras agrícolas incluidas en el análisis corresponden a áreas de aprovechamiento postcosecha utilizadas de forma puntual dentro del sistema trashumante. Se trata de sistemas de baja productividad pastoral, limitada a la biomasa residual disponible tras la cosecha, y de uso temporalmente acotado.

El riesgo de incendio asociado a las rastrojeras es generalmente bajo o medio-bajo, debido a la discontinuidad del combustible y a la corta duración de la acumulación de biomasa. El valor de biodiversidad se considera bajo o medio-bajo, centrado principalmente en servicios de regulación y aprovechamiento residual, sin alcanzar los niveles propios de sistemas seminaturales más complejos.

En definitiva, Los valores asignados a los parámetros $b_{0,p,t}$, $v_{\text{biodiv},p,t}$ y $e_{\text{fire},p,t}$ no se interpretan como magnitudes físicas observadas directamente, sino como parámetros de referencia calibrados que permiten reflejar de forma consistente las diferencias estructurales entre zonas.

En suma, y como comentario para todas las zonas en este estudio, las diferencias entre zonas no responden a ajustes ad hoc para obtener determinados resultados, sino a una clasificación cualitativa previa (baja / media / alta) coherente con la literatura técnica (MAPA, CESEFOR, INIF–MITECO, TEEB), posteriormente traducida a valores numéricos comparables dentro del modelo.

6.5.3. Puerto de Las Pintas, Salamón (24/25) (2024)

Descripción inicial. El Puerto de Las Pintas constituye un sistema de pastos de montaña húmeda con buena productividad primaria, elevada cobertura herbácea y presencia de combustible fino en verano. Su estructura de vegetación mixta (pasto, herbazal y matorral bajo) permite sostener una carga ganadera extensiva y, en ausencia de manejo, puede

favorecer una continuidad de combustible suficiente para un riesgo de incendio moderado–alto. Los parámetros empleados reflejan la interacción entre productividad, presión ganadera sostenible y dinámica estival del combustible.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio-alto. Asignado $0,0500$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio. Asignado 30 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): alto. Asignado 50 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 389$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 120$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.500$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,50$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0500$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 120$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0151$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 13,59$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 339.794$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}= 50$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 680$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 33.979$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 30$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 11.670$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 339.794 + 33.979 + 11.670$ € $= 385.444$ €.

6.5.4. Puerto de Piedrahita, Vidrieros (24/25) (2024)

Descripción inicial. El Puerto de Piedrahita presenta una estructura de pastos de montaña de elevada productividad, con zonas húmedas bien conservadas, pendientes moderadas en comparación con otros puertos de la comarca y una accesibilidad media. Estas características favorecen la acumulación de biomasa durante la primavera y el inicio del verano, al tiempo que moderan el riesgo de incendio frente a áreas más secas o con mayor continuidad de matorral. Los parámetros asignados reflejan un equilibrio entre productividad, riesgo intrínseco medio y un uso ganadero extensivo adaptado a la disponibilidad real del pasto, de acuerdo con información procedente del MAPA, CESEFOR, TRAGSA y el inventario histórico de incendios del INIF–MITECO.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0300$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio. Asignado 24 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio-alto. Asignado 47 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 539$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 105$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.800$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,40$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0300$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 84$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0130$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 9,19$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 229.731$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 47$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 432$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 21.595$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 24$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 12.936$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 229.731 + 21.595 + 12.936$ € $= 264.262$ €.

6.5.5. Puerto de Peñalba, Aguasalio y el Venero, Valverde de la Sierra (24/25) (2024)

Descripción inicial. El conjunto de Peñalba–Aguasalio–Venero constituye uno de los puertos más extensos y heterogéneos del sistema analizado. Su gran superficie, la presencia de pastos en mosaico con matorral de altura y la elevada variabilidad topográfica condicionan tanto su productividad como su comportamiento frente al fuego. El puerto combina zonas de buena producción herbácea con áreas más secas y discontinuas, lo que tiende a reducir la continuidad del combustible fino y sitúa el riesgo de incendio en un rango bajo–medio en ausencia de manejo. La parametrización adoptada refleja esta combinación de condiciones biofísicas, apoyándose en rangos documentados por el MAPA, CESEFOR, TRAGSA y el inventario de incendios del INIF–MITECO.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): bajo-medio. Asignado $0,0200$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 36 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 40 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 908$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 105$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.200$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,60$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0200$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 126$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0057$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 13,01$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 325.221$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 40$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 520$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 26.018$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 36$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 32.688$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 325.221 + 26.018 + 32.688\ € = 383.927\ €$.

6.5.6. Puerto de Cueva grande y otros, Villanueva de la Peña (24/25) (2024)

Descripción inicial. El Puerto de Cueva Grande y los puertos asociados en Villanueva de la Peña conforman uno de los sistemas de pastos de montaña más productivos del conjunto estudiado. Se trata de un territorio con elevada biomasa herbácea, presencia de matorral disperso y pendientes pronunciadas en determinados sectores, junto con una marcada estacionalidad en la disponibilidad de alimento. A diferencia de otros puertos más húmedos, este sistema combina áreas altamente productivas con sectores que pueden experimentar sequedad estival, lo que incrementa el riesgo potencial de incendio en ausencia de gestión activa. Los parámetros empleados reflejan esta dualidad entre alta productividad y riesgo moderado–alto, de acuerdo con datos del MAPA, CESEFOR, TRAGSA y estimaciones del INIF–MITECO sobre combustibilidad en pastos montanos.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio-alto. Asignado $0,0400$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): bajo-medio. Asignado 18 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): alto. Asignado 52 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 733$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 120$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.000$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,30$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0400$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 72$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0195$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 15,05$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 376.211$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\mathrm{CO}_2} = 50$ €/$\mathrm{tCO}_2\mathrm{e}$;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\mathrm{fire},p,t}$= 52 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\mathrm{evit},p,t} = e_{\mathrm{fire},p,t}\Delta A_{p,t} = 783$ $\mathrm{tCO}_2\mathrm{e}$;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\mathrm{clima},p,t} = P_{\mathrm{CO}_2} EM_{\mathrm{evit},p,t} = 39.126$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\mathrm{biodiv},p,t} = 18$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\mathrm{biodiv},p,t} = v_{\mathrm{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 13.194$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\mathrm{fire},p,t} + V_{\mathrm{clima},p,t} + V_{\mathrm{biodiv},p,t} = 376.211 + 39.126 + 13.194$ € $= 428.530$ €.

6.5.7. Puerto de Regadas, Lumajo (24) (2024)

Descripción inicial. El Puerto de Regadas, en el entorno de Lumajo, representa un ecosistema montano caracterizado por una elevada heterogeneidad estructural, con pastizales mixtos, matorral disperso y sectores de fuerte pendiente. Se trata de un puerto con buena capacidad de carga ganadera extensiva, favorecida por la calidad del pasto y la diversidad de microambientes, pero con un riesgo de incendio relativamente bajo debido a la humedad ambiental y a la discontinuidad del combustible fino. La topografía, la mezcla de hábitats y la presencia de microcuencas contribuyen a un elevado valor ecológico, situando a este puerto entre los más relevantes desde el punto de vista de la biodiversidad dentro del sistema analizado. La parametrización se fundamenta en referencias técnicas del MAPA, CESEFOR, TRAGSA y el inventario del INIF–MITECO.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): bajo. Asignado $0,0100$.
- Biodiversidad ($v_{\mathrm{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 34 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\mathrm{fire},p,t}$): medio. Asignado 45 ($\mathrm{tCO}_2\mathrm{e}$/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 700$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 90$ días;

- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.000$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,70$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0100$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 126$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0028$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 5,01$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 125.361$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 45$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 226$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 11.282$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 34$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 23.800$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 125.361 + 11.282 + 23.800$ € $= 160.443$ €.

6.5.8. Puerto de las Argajadas, Villargusán (24/25) (2024)

Descripción inicial. El Puerto de las Argajadas se localiza en el entorno de Villargusán, en el municipio de San Emiliano (Babia, provincia de León), a una altitud aproximada de 1.260 m. Se trata de un sistema de pastos de montaña media–alta caracterizado por pendientes acusadas, accesibilidad limitada y una marcada estacionalidad en la producción forrajera. La vegetación está dominada por pastizales montanos con presencia puntual de matorral bajo y discontinuidades naturales asociadas a la topografía y al régimen hídrico de la zona. Estas características favorecen un uso ganadero extensivo tradicional, con buena calidad del pasto durante el verano, al tiempo que limitan la acumulación continua de combustible fino. En conjunto, el puerto presenta un valor ecológico relevante y un riesgo de incendio intrínseco reducido en ausencia de manejo, coherente con los sistemas pastorales de la comarca de Babia descritos en la literatura técnica del MAPA, CESEFOR y el INIF–MITECO.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): bajo. Asignado $0,0100$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio-alto. Asignado 34 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 45 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 180$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 120$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.000$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,70$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0100$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 168$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0019$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 1,46$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 36.613$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\mathrm{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\mathrm{fire},p,t}$= 45 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\mathrm{evit},p,t} = e_{\mathrm{fire},p,t}\Delta A_{p,t} = 66$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\mathrm{clima},p,t} = P_{\mathrm{CO}_2} EM_{\mathrm{evit},p,t} = 3.295$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\mathrm{biodiv},p,t} = 34$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\mathrm{biodiv},p,t} = v_{\mathrm{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 6.120$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\mathrm{fire},p,t} + V_{\mathrm{clima},p,t} + V_{\mathrm{biodiv},p,t} = 36.613 + 3.295 + 6.120$ € $= 46.028$ €.

6.5.9. Dehesa Santa Olalla del Cala, Huelva (rebaño Pintas) (24/25) (2024)

Descripción inicial. Dehesa mixta de encinar/alcornoque del ámbito de Sierra Morena occidental, con paisaje en mosaico y alta naturalidad relativa. La estructura de "bosque claro" y el manejo ganadero extensivo favorecen valores ecológicos elevados, mientras que la estacionalidad seca del Suroeste ibérico puede aumentar el riesgo basal de incendio en ausencia de gestión del combustible fino.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0120$.
- Biodiversidad ($v_{\mathrm{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 26 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\mathrm{fire},p,t}$): medio-alto. Asignado 25 (tCO_2e/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 400$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 245$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.300$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,35$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0120$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 154$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0026$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 3,77$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 56.618$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO$_2$e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}$= 25 tCO$_2$;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 94$ tCO$_2$e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 4.718$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 26$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 10.400$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 56.618 + 4.718 + 10.400$ € $= 71.737$ €.

6.5.10. Dehesa Cabeza del Buey, Badajoz (rebaño Piedrahita) (24) (2024)

Descripción inicial. Dehesa interior ligada a sistemas agroganaderos extensivos del área de La Serena y sierras periféricas, con grandes superficies abiertas y mosaico de usos. Combina árboles (encinas, alcornoques) con extensos pastos, ideales para el ganado. El valor ecológico se apoya en la función de hábitat para fauna asociada a medios abiertos y mosaicos mediterráneos, mientras que el riesgo de incendio se mantiene moderado por la discontinuidad del combustible en la dehesa, aunque condicionado por veranos secos.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado 0,0110.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 29 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 28 (tCO$_2$e/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 400$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 260$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.200$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,32$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0110$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t}, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 150$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0025$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 3,42$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 51.238$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 28$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 96$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 4.782$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 29$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 11.600$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 51.238 + 4.782 + 11.600$ € $= 67.620$ €.

6.5.11. Dehesa Cáceres (rebaño Peñalba) (24/25) (2024)

Descripción inicial. Dehesa de encinar y alcornocal representativa del patrón cacereño, asociada a ganadería extensiva y a un paisaje mediterráneo seminatural. La biodiversidad se sustenta en el mosaico de pastizal-arbolado y su función como hábitat, con riesgo de incendio basal bajo-moderado por discontinuidad de combustible, aunque sensible a condiciones estivales y bordes con matorral.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio-bajo. Asignado $0,0110$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio-alto. Asignado 28 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 30 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 630$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 260$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.350$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,33$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0110$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 154$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0023$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 5,45$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 81.763$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}$= 30 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 164$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 8.176$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 28$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 17.640$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 81.763 + 8.176 + 17.640$ € $= 107.579$ €.

6.5.12. Dehesa Hernán-Pérez, Cáceres (rebaño Cueva Grande) (24/25) (2024)

Descripción inicial. Dehesa del entorno serrano (Sierra de Gata) formando un bosque mediterráneo aclarado con mosaico de usos y ecotonos, clásico modelo de dehesa extremeña, que tiende a aumentar el valor ecológico por heterogeneidad espacial. El riesgo basal de incendio se mantiene moderado en dehesa, pero puede aumentar localmente si existen bordes con matorral, aunque este matorral ha sido progresivamente eliminado en favor de árboles productivos, lo que produce una cierta continuidad leñosa en el mosaico.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0115$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 30 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 30 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 500$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 245$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.400$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,34$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0115$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 150$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;

- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0026$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 4,47$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 66.993$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}$= 30 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 134$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 6.699$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 30$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 15.000$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 66.993 + 6.699 + 15.000$ € $= 88.693$ €.

6.5.13. Dehesa Cabeza del Buey, Badajoz (rebaño Regadas) (24) (2024)

Descripción inicial. Dehesa esencialmente descrita previamente. No es exactamente la misma área, pero sí comparten zona y características.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0110$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 29 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 28 (tCO_2e/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 350$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 275$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.200$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,32$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0110$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 158$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0023$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 3,06$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 45.902$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO$_2$e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}$= 28 tCO$_2$;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 86$ tCO$_2$e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 4.284$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 29$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 10.150$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 45.902 + 4.284 + 10.150$ € $= 60.337$ €.

6.5.14. Dehesa Torrejón El Rubio, Cáceres (rebaño Piedrahita) (25) (2025)

Descripción inicial. Dehesa y mosaicos mediterráneos de encinas y alcornoques en el entorno de Monfragüe, área de referencia por su riqueza faunística y calidad del hábitat mediterráneo. La combinación de bosque claro, ecotonos y manejo extensivo refuerza un valor de biodiversidad alto; el riesgo basal de incendio es moderado por estacionalidad seca y presencia potencial de vegetación leñosa en el mosaico.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado 0,0110.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): alto. Asignado 32 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio-alto. Asignado 30 (tCO$_2$e/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 400$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 260$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.200$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,31$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0110$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t}, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 145$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0026$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 3,37$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 50.531$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 30$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 101$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 5.053$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 32$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 12.800$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 50.531 + 5.053 + 12.800$ € $= 68.384$ €.

6.5.15. Dehesa Rastrojeras de León (rebaño Argajadas) (24/25) (2024)

Descripción inicial. Aunque por la separación entre los periodos estival e invernal aparezca como una dehesa (y en ciertos aspectos la zona esté considerada como si lo fuera, y agrega sus valores para la determinación de la zona H), esta zona es una rastrojera cerealista, es decir, un agrosistema de baja complejidad estructural y alta estacionalidad, con combustible fino residual tras la cosecha. Por lo tanto, se asigna un valor de biodiversidad bajo o medio-bajo y un riesgo basal anual bajo, coherente con la ausencia de carga leñosa y el uso invernal del recurso.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): bajo. Asignado $0,0060$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): bajo. Asignado 12 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): bajo. Asignado 10 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 50$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 245$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.200$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,50$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0060$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 220$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0007$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 0,27$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 1.868$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\mathrm{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\mathrm{fire},p,t}$= 10 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\mathrm{evit},p,t} = e_{\mathrm{fire},p,t}\Delta A_{p,t} = 3$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\mathrm{clima},p,t} = P_{\mathrm{CO}_2} EM_{\mathrm{evit},p,t} = 133$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\mathrm{biodiv},p,t} = 12$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\mathrm{biodiv},p,t} = v_{\mathrm{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 600$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\mathrm{fire},p,t} + V_{\mathrm{clima},p,t} + V_{\mathrm{biodiv},p,t} = 1.868 + 133 + 600$ € $= 2.602$ €.

6.5.16. Zona H: valoración sistémica de superficies agregadas de uso trashumante

La zona H no debe interpretarse como un residuo contable ni como la simple suma de superficies no analizadas individualmente. Su función en el modelo es distinta: permite capturar beneficios sociales ecosistémicos de carácter sistémico que emergen únicamente cuando la trashumancia se considera a escala territorial y no como un conjunto de casos aislados.

Desde el punto de vista económico, la valoración de la zona H responde a una lógica agregada no lineal. En particular, los beneficios asociados a la reducción del riesgo de incendios, a la mitigación climática y al mantenimiento de la biodiversidad no se generan de forma independiente en cada unidad espacial, sino que dependen de la continuidad del manejo extensivo, de la conectividad funcional entre superficies y de la estabilidad interanual del uso del territorio. Por este motivo, las magnitudes estimadas para la zona H no deben interpretarse como una suma residual de beneficios individuales, sino como una aproximación específica al valor público de la trashumancia como sistema territorial.

Zona H – Puertos. En el caso de los puertos, la zona H agrupa superficies de pastizal de montaña de uso estacional con características biofísicas comparables a las de los puertos analizados individualmente. Para su valoración se adoptan parámetros representativos por tipología, coherentes con los utilizados en los casos anteriores, y se considera la superficie total agregada recogida en el modelo.

El beneficio social ecosistémico asociado a estos puertos agregados se obtiene a partir de la reducción esperada de daños por incendios, el beneficio climático derivado de las emisiones evitadas y la contribución por biodiversidad, calculados de forma consistente con el resto del modelo. Los resultados muestran que, al igual que en los puertos analizados

individualmente, el componente asociado a incendios evitados concentra la mayor parte del beneficio social estimado, seguido del beneficio climático, mientras que la biodiversidad aporta una contribución adicional ligada a la superficie total considerada.

Este resultado pone de manifiesto que una parte sustancial del valor social de la trashumancia en puertos no se concentra en unos pocos enclaves concretos, sino que emerge de forma acumulativa a escala territorial, reforzando su papel como instrumento de gestión del riesgo de incendios y de regulación climática en sistemas de montaña.

En este contexto, el peso dominante del componente de incendios evitados refleja no solo la magnitud de las superficies consideradas, sino también el efecto acumulativo de la gestión extensiva continua sobre la reducción del daño esperado a escala regional.

Como los puertos y dehesas usados en las dos campañas no son exactamente, las diferencias se reflejan también en la Zona H, por lo que tiene todo el sentido presentar los resultados de una y otra campaña de forma separada.

6.5.17. Zona H (escenario homogéneo) (24/25) (2024)

Descripción inicial. La Zona H no representa un puerto real, sino un escenario sintético de referencia en el que se agregan y homogeneizan las características del conjunto de puertos analizados. Su función es proporcionar una línea base estructural para interpretar el papel de la heterogeneidad espacial: al evaluar el modelo sobre parámetros promediados (según el criterio de agregación adoptado), la valoración resultante es comparable en términos analíticos, pero no territorial. La Zona H no se suma a las zonas reales: se utiliza como instrumento de lectura para identificar efectos sistémicos derivados de no linealidades del modelo.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0266$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio. Asignado 29 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 46 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 3.449$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 109$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.447$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,52$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0266$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 114$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0086$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 62,41$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 1.560.237$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO$_2$e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t}= 46$ tCO$_2$;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 2.874$ tCO$_2$e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 143.691$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 29$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 100.408$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 1.560.237 + 143.691 + 100.408$ € $= 1.804.336$ €.

6.5.18. Zona H (escenario homogéneo) (24/25) (2025)

Descripción inicial. La misma idea que en 2024, pero con valores distintos debidos a las diferencias en el número de cabezas de ganado y a las diferencias entre las zonas utilizadas en esta campaña.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0309$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio. Asignado 28 €.
- Emisiones por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 47 (tCO$_2$e/ha).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 2.749$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 113$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 1.560$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,47$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0309$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t}, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 107$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0106$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 55,64$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 1.391.116$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 47$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 2.625$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 131.241$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 28$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 76.608$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 1.391.116 + 131.241 + 76.608$ € $= 1.598.965$ €.

Zona H – Dehesas y rastrojeras. La zona H incluye asimismo dehesas y rastrojeras utilizadas de forma estacional por la trashumancia y no analizadas de manera individualizada. En este caso, se consideran superficies agro-silvo-pastorales y agrícolas con menor severidad media del fuego y valores de daño por hectárea inferiores a los de los puertos de montaña, de acuerdo con los supuestos adoptados en el modelo.

Los resultados agregados muestran un reparto del beneficio social diferente al observado en los puertos: el componente de incendios evitados mantiene un peso relevante, pero menor en términos relativos, mientras que el beneficio por biodiversidad y el beneficio climático adquieren una importancia comparable. Este patrón refleja las características estructurales de estos sistemas, en los que el pastoreo extensivo contribuye de manera significativa al mantenimiento de hábitats abiertos, a la heterogeneidad del paisaje y a la reducción de emisiones asociadas a incendios de menor severidad.

La inclusión de dehesas y rastrojeras en la zona H evidencia que el valor social de la trashumancia no se limita a los sistemas de montaña, sino que se extiende a otros usos del suelo donde su contribución resulta menos visible individualmente, pero relevante cuando se considera de forma agregada.

En conjunto, la zona H pone de relieve la importancia sistémica de la trashumancia como práctica territorial, cuyo beneficio social ecosistémico emerge no solo de casos singulares, sino del efecto acumulado de su implantación a lo largo de amplias superficies. Este enfoque agregado permite capturar una parte esencial del valor público asociado al pastoreo extensivo trashumante y refuerza la pertinencia de su consideración en estrategias de gestión del territorio, prevención de incendios y mitigación del cambio climático.

En el caso de dehesas y rastrojeras, la valoración agregada pone de relieve beneficios que resultan menos visibles a escala individual, pero que adquieren relevancia cuando se consideran de forma conjunta, en particular en términos de conectividad ecológica y estabilidad del paisaje agro-silvo-pastoral.

La aplicación empírica del modelo a puertos, dehesas, rastrojeras y a la zona H permite extraer varias conclusiones relevantes. En primer lugar, los resultados muestran que el beneficio social ecosistémico asociado a la trashumancia presenta una elevada heterogeneidad espacial, dependiente tanto de las características biofísicas de cada tipología de uso del suelo como de los valores de referencia adoptados para la valoración económica.

En segundo lugar, el análisis pone de manifiesto que una parte sustancial del valor social de la trashumancia no se concentra únicamente en enclaves singulares, sino que emerge de forma acumulativa a escala territorial. La consideración de la zona H permite capturar este componente sistémico del beneficio, asociado a la continuidad del manejo extensivo, a la reducción agregada del riesgo de incendios y a la estabilidad ecológica del paisaje.

Finalmente, las diferencias observadas entre la valoración agregada de la zona H y la suma de los casos individuales reflejan la naturaleza no lineal del modelo y la existencia de efectos de escala y de composición. Lejos de constituir una incoherencia, este comportamiento pone de relieve la pertinencia de un enfoque que trasciende la agregación mecánica de unidades espaciales y permite aproximar el valor público de la trashumancia como sistema territorial.

6.5.19. Zona H (escenario homogéneo dehesas) (24/25) (2024)

Descripción inicial. Escenario homogéneo sintético que representa una dehesa "promedio" construida por agregación/ponderación de parámetros. Su objetivo es comparativo (no territorial), por lo que las clasificaciones se interpretan como intermedias y analíticas.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0112$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio-alto. Asignado 28 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 28 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 2.330$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 256$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.279$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,34$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0112$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 155$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0024$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 20,48$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 303.694$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\text{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\text{fire},p,t} = 28$ tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\text{evit},p,t} = e_{\text{fire},p,t} \Delta A_{p,t} = 575$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\text{clima},p,t} = P_{\text{CO}_2} EM_{\text{evit},p,t} = 28.743$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\text{biodiv},p,t} = 28$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\text{biodiv},p,t} = v_{\text{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 65.390$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\text{fire},p,t} + V_{\text{clima},p,t} + V_{\text{biodiv},p,t} = 303.694 + 28.743 + 65.390$ € $= 397.828$ €.

6.5.20. Zona H (escenario homogéneo dehesas) (24/25) (2025)

Descripción inicial. La misma idea que en 2024, pero con valores distintos debidos a las diferencias en el número de cabezas de ganado y al uso de diferencias zonas en esta campaña con respecto a la anterior.

Clasificación cualitativa.

- Riesgo basal ($b_{0,p,t}$): medio. Asignado $0,0117$.
- Biodiversidad ($v_{\text{biodiv},p,t}$): medio-alto. Asignado 29 €.
- Emisiones potenciales por incendio ($e_{\text{fire},p,t}$): medio. Asignado 28 ($\text{tCO}_2\text{e/ha}$).

Parámetros biofísicos.

- Superficie: $A_{p,t} = 1.980$ ha;
- Días de estancia: $D_{p,t} = 252$ días;
- Biomasa disponible: $B_{p,t} = 2.293$ kg MS/ha;
- Carga ganadera sostenible: $SR_{p,t} = 0,34$ UGM/ha;
- Consumo diario de materia seca por UGM: $\alpha = 2$ kg MS/UGM.

Riesgo de incendio.

- Probabilidad básica anual de incendio: $b_{0,p} = 0,0117$;
- Biomasa consumida por el ganado: $GRAZ_{p,t} = \text{mín}(B_{p,t},\, \alpha\, SR_{p,t}\, D_{p,t}) = 153$ kg MS/ha;
- Parámetro de reducción del riesgo de incendio por pastoreo: $\phi = 0,0100$ ha/kg MS;
- Probabilidad de incendio con pastoreo: $\pi_{p,t} = b_{0,p} \exp(-\phi\, GRAZ_{p,t}) = 0,0025$;
- Superficie de incendio evitada por pastoreo: $\Delta A_{p,t} = (b_{0,p} - \pi_{p,t}) A_{p,t} = 18,12$ ha;
- Coste económico de incendios evitado: $\Delta C_{\text{fire},p,t} = 268.131$ €.

Beneficio climático.

- Precio social del Carbono: $P_{\mathrm{CO}_2} = 50$ €/tCO_2e;
- Emisiones potenciales por incendio $e_{\mathrm{fire},p,t}$= 28 tCO_2;
- Emisiones evitadas: $EM_{\mathrm{evit},p,t} = e_{\mathrm{fire},p,t}\Delta A_{p,t} = 516$ tCO_2e;
- Valor económico de las emisiones evitadas: $V_{\mathrm{clima},p,t} = P_{\mathrm{CO}_2} EM_{\mathrm{evit},p,t} = 25.807$ €.

Beneficio por biodiversidad.

- Valor unitario anual de biodiversidad: $v_{\mathrm{biodiv},p,t} = 29$;
- Valor económico total de biodiversidad: $V_{\mathrm{biodiv},p,t} = v_{\mathrm{biodiv},p,t}\, A_{p,t} = 56.440$ €.

Beneficio ecosistémico total.

- $BS_{p,t} = \Delta C_{\mathrm{fire},p,t} + V_{\mathrm{clima},p,t} + V_{\mathrm{biodiv},p,t} = 268.131 + 25.807 + 56.440$ € $= 350.378$ €.

En conjunto, la comparación entre las zonas reales y la Zona H pone de manifiesto que el beneficio social ecosistémico asociado a la trashumancia no puede interpretarse como una magnitud puramente aditiva. A igualdad de valores medios, la distribución espacial de superficies, riesgos y características ecológicas condiciona de forma significativa el resultado agregado.

La Zona H no representa un escenario alternativo deseable ni un referente de eficiencia territorial, sino un instrumento analítico que permite identificar efectos sistémicos derivados de la heterogeneidad espacial del sistema trashumante. Su inclusión refuerza la idea de que el valor social de la trashumancia emerge de la articulación conjunta de sus distintos componentes territoriales y funcionales, y no únicamente de la suma de beneficios locales.

7. Conclusiones

Este trabajo ha desarrollado y aplicado un modelo de valoración económica de los beneficios sociales ecosistémicos asociados a la trashumancia, centrado exclusivamente en externalidades públicas relacionadas con la prevención de incendios, la mitigación climática y la conservación de la biodiversidad. El enfoque adoptado evita deliberadamente la inclusión de costes y beneficios privados, con el objetivo de aislar el valor público generado por el pastoreo extensivo trashumante.

La aplicación empírica del modelo pone de manifiesto una elevada heterogeneidad espacial en los beneficios estimados, tanto entre tipologías de uso del suelo como entre localizaciones concretas. En los puertos de montaña, el beneficio social se encuentra dominado por la reducción esperada de daños por incendios, seguida de una contribución climática relevante asociada a las emisiones evitadas, mientras que el componente de biodiversidad actúa como término complementario ligado fundamentalmente a la superficie y al valor

unitario adoptado. En dehesas y rastrojeras, el reparto de beneficios resulta más equilibrado, con un peso relativo mayor de la biodiversidad y una menor severidad media del componente de incendios, reflejando las diferencias estructurales entre estos sistemas.

Un resultado central del análisis es la relevancia de los efectos de escala y de composición capturados mediante la zona H. La valoración agregada de superficies no analizadas individualmente muestra que una parte sustancial del valor social de la trashumancia emerge únicamente cuando se considera el sistema territorial en su conjunto. Las diferencias observadas entre la valoración de la zona H y la suma de los casos individuales no constituyen una incoherencia del modelo, sino una consecuencia directa de su estructura no lineal y de la existencia de umbrales de saturación en el pastoreo efectivo. Este comportamiento refuerza la pertinencia de un enfoque que trasciende la agregación mecánica de unidades espaciales.

Desde una perspectiva económica, los resultados obtenidos subrayan que la trashumancia genera beneficios públicos significativos que no se reflejan en los mercados y que, por tanto, tienden a infra-remunerarse en ausencia de mecanismos de reconocimiento específicos. En particular, el papel del pastoreo extensivo como herramienta de gestión del riesgo de incendios y de estabilización ecológica del territorio adquiere una dimensión sistémica que resulta difícil de capturar mediante políticas fragmentadas o intervenciones puntuales.

En conjunto, el modelo propuesto ofrece un marco transparente, flexible y replicable para la valoración del valor público asociado a la trashumancia. Su aplicación sugiere que la consideración explícita de estos beneficios ecosistémicos debería ocupar un lugar central en el diseño de políticas de gestión del territorio, prevención de incendios y mitigación del cambio climático, especialmente en contextos de abandono rural y creciente vulnerabilidad frente a eventos extremos.

Finalmente, este trabajo abre diversas líneas de investigación futura, entre ellas la mejora de la calibración empírica de algunos parámetros clave, la incorporación explícita de dinámicas interanuales y la extensión del enfoque a otros sistemas de pastoreo extensivo. Estas extensiones permitirían profundizar en la cuantificación del papel de la trashumancia como elemento estructural de resiliencia territorial.

8. De la valoración de externalidades a la sostenibilidad económica de la trashumancia

El modelo desarrollado en este trabajo se ha centrado deliberadamente en la valoración de los beneficios sociales ecosistémicos asociados a la trashumancia, excluyendo de manera explícita los costes e ingresos privados de la actividad. Tal y como se ha indicado en la introducción, esta decisión metodológica permite aislar el valor público generado por la trashumancia antes de considerar su viabilidad privada.

No obstante, el marco analítico propuesto permite, con modificaciones relativamente acotadas, su ampliación hacia una valoración económica más completa que incorpore componentes de carácter privado. Esta ampliación no se plantea como una sustitución del enfoque adoptado, sino como una extensión complementaria orientada a analizar la viabilidad económica de la trashumancia y su interacción con los beneficios públicos identificados.

Desde el punto de vista conceptual, la incorporación de beneficios y costes privados requeriría considerar, en primer lugar, los ingresos asociados a la actividad ganadera trashumante, incluyendo la venta de productos primarios (carne, leche, lana u otros derivados), así como posibles primas de calidad, denominaciones de origen o pagos vinculados a esquemas agroambientales. Estos ingresos presentan una elevada heterogeneidad espacial y temporal, dependiente tanto de las condiciones de mercado como de las características productivas de cada rebaño.

En paralelo, sería necesario integrar los principales costes privados de la actividad, entre los que destacan los costes laborales, de alimentación complementaria, de transporte, de mantenimiento del ganado y de gestión sanitaria. En el contexto de la trashumancia, algunos de estos costes presentan una estructura particular, ligada a la movilidad estacional y al uso extensivo del territorio, lo que los diferencia de sistemas ganaderos más intensivos o sedentarios.

Una ampliación relevante del modelo consistiría en analizar la interacción entre estos componentes privados y los beneficios sociales ecosistémicos estimados en las secciones anteriores. En particular, el marco permitiría explorar hasta qué punto los beneficios públicos asociados a la prevención de incendios, la mitigación climática y la conservación de la biodiversidad contribuyen indirectamente a reducir costes privados o a estabilizar ingresos, por ejemplo mediante una menor exposición a riesgos extremos o una mayor resiliencia del sistema productivo.

Asimismo, el modelo ampliado podría servir como base para evaluar mecanismos de internalización parcial de externalidades, tales como pagos por servicios ecosistémicos, ayudas agroambientales específicas o esquemas de compensación vinculados a la gestión del riesgo de incendios. En este contexto, la separación explícita entre beneficios públicos y privados facilita el análisis de diseño de políticas, al permitir identificar qué parte del valor generado por la trashumancia no es capturada por los agentes privados y podría justificar intervenciones públicas.

En conjunto, la extensión del modelo hacia la incorporación de beneficios y costes privados abre la puerta a un análisis integrado de la sostenibilidad económica de la trashumancia, entendido no solo como equilibrio financiero de la actividad, sino como compatibilidad entre viabilidad privada y generación de valor público. No obstante, el desarrollo completo de esta línea de trabajo excede los objetivos del presente estudio y se plantea como una vía prioritaria para investigaciones futuras.

Bibliografía

[1] Bateman, I. J., et al. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom. *Science*, 341(6141), 45–50. https://doi.org/10.1126/science.1234379

[2] 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): e102479. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102479

[3] Costanza, R., et al. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

[4] Doerr, S. H., & Santín, C. (2016). Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 371: 20150345. http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0345

[5] Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., et al. (2011). Landscape–wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2389–2402. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028

[6] OECD (2018), Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use, OECD Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/9789264085169-en

[7] Plieninger, T., et al. (2015). The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 28–33. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.006

[8] Ruiz-Mirazo, J., Robles, A. B., & González-Rebollar, J. L. (2011). Two-year evaluation of fuelbreaks grazed by livestock in the wildfire prevention program in Andalusia (Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1–2), 13–22. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.002

[9] TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London.