



9CFE-1428

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





CLIMAForest PARA LA GESTIÓN DE LOS HÁBITATS Y LA BIODIVERSIDAD

CIENFUEGOS CALDERA, B. (1), GÓMEZ SIERRA, M. (1), VÉLAZ DE MEDRANO, A. (2)
y LAVADO CONTADOR, F. (3)

(1) Fomento de Técnicas Extremeñas SL

(2) Ingeniería y Servicios Agrarios y Forestales AMBIENTA SLU

(3) Universidad de Extremadura

Resumen

Los bosques desempeñan un papel esencial en la regulación climática, la captación de carbono y la provisión de servicios ecosistémicos indispensables para la bienestar de sociedades. Sin embargo, la deforestación, la fragmentación del hábitat y las perturbaciones relacionadas con el cambio climático amenazan su integridad y biodiversidad. El Grupo Operativo CLIMAForest aborda la necesidad de integrar tecnologías avanzadas y principios ecosistémicos en estrategias de gestión forestal sostenible, con el objetivo de hacer frente a los desafíos globales del cambio climático y la gestión de la biodiversidad.

En este contexto, el Grupo Operativo evalúa el potencial de las herramientas GESCUENCAS y EVARHIS para mejorar la gestión de los hábitats y la biodiversidad en las cuencas piloto de los valles del Árrago y Jerte, en Extremadura, España. GESCUENCAS combina Sistemas de Información Geográfica y modelos hidrológicos para evaluar la calidad ambiental de las cuencas, integrando indicadores ecológicos, sociales y económicos. Por otro lado, EVARHIS permite la valoración económica de los servicios ecosistémicos bajo diferentes escenarios de uso del suelo, proporcionando información clave para la toma de decisiones.

Los resultados enfatizan la importancia de prácticas de manejo adaptativas, basadas en simulaciones de escenarios que consideran tanto los impactos ambientales como los socioeconómicos. Además, incluye medidas como la restauración de áreas degradadas, la creación de corredores ecológicos o la participación comunitaria, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Los resultados esperados incluyen paisajes forestales resilientes para conservar la biodiversidad y los hábitats, estrategias económicamente viables y un modelo replicable que combina ciencia, tecnología y participación social.

Palabras clave

Biodiversidad forestal Servicios ecosistémicos, gestión forestal, digitalización, participación social, evaluación ambiental.

1. Introducción



La gestión forestal desempeña un papel fundamental en el equilibrio entre la actividad humana y la conservación de los ecosistemas naturales. Los ecosistemas forestales, que cubren aproximadamente el 31% de la superficie terrestre, son el hogar de una gran parte de la biodiversidad terrestre, proporcionando refugio a innumerables especies. Además, los ecosistemas forestales cumplen funciones esenciales como la regulación del clima, la captación de carbono y la provisión de servicios ecosistémicos cruciales para la supervivencia humana.

Sin embargo, la creciente presión derivada de la deforestación, la fragmentación del hábitat, los cambios en los regímenes de perturbaciones y el cambio climático ha puesto en peligro tanto la biodiversidad como la integridad de estos ecosistemas. En este contexto, surge la necesidad de adoptar enfoques de gestión forestal integrales, que no solo se enfoquen en el uso sostenible de los recursos, sino que también integren explícitamente la conservación de los hábitats y la protección de la biodiversidad.

La gestión forestal sostenible, entendida como la planificación y manejo de los bosques para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras, ofrece una herramienta estratégica para enfrentar estos desafíos. Al integrar principios de conservación, es posible promover paisajes forestales resilientes que combinen el aprovechamiento responsable de los recursos con la preservación de los hábitats críticos.

El Grupo Operativo CLIMAForest (PGOF/38/2022) tiene como objetivo mejorar la gestión forestal en Extremadura, España, especialmente en el contexto de la adaptación al cambio climático. CLIMAForest presenta un enfoque innovador para abordar los desafíos del cambio climático y la gestión sostenible de los bosques en Extremadura, integrando tecnología avanzada, digitalización y una visión ecosistémica. Entre las contribuciones más destacadas se encuentran los sistemas GESCUENCAS y EVARHIS, que permiten evaluar y gestionar los recursos naturales desde una perspectiva holística, considerando factores como biodiversidad, el suelo, la hidrología y resiliencia al cambio climático.

El sistema GESCUENCAS combina herramientas SIG y modelos hidrológicos como SWAT, integrando indicadores ambientales clave para evaluar la calidad ambiental de cuencas hidrográficas. Esta metodología ofrece un enfoque integral que incluye análisis ecológicos, sociales y económicos, lo cual es crucial para identificar riesgos y diseñar estrategias de mitigación y adaptación. Por su parte, EVARHIS permite modelar escenarios de riesgo hidrológico-forestal, simulando intervenciones y evaluando sus impactos económicos y ambientales, lo que lo convierte en un valioso instrumento de apoyo a la toma de decisiones.

Algunas de las implicaciones prácticas del grupo operativo son:

- Mejora en la Gestión Forestal: El proyecto enfatiza la necesidad de prácticas de gestión forestal efectivas que puedan adaptarse al cambio climático. Esto incluye la implementación de acciones forestales a pequeña



- escala que promuevan la biodiversidad y la resiliencia frente a los impactos climáticos
- **Uso de Tecnología:** La integración de tecnologías avanzadas, como los sistemas GESCUENCAS y EVARHIS, es crucial. Estas herramientas facilitan una mejor toma de decisiones y gestión de recursos a nivel de cuenca, lo que puede llevar a estrategias de adaptación más efectivas
 - **Proyectos Piloto:** El establecimiento de zonas piloto para probar diversas estrategias de gestión permite una evaluación práctica de su efectividad. Las visitas de campo ayudarán a evaluar la viabilidad de las acciones propuestas, asegurando que solo se implementen medidas factibles
 - **Educación y Concienciación:** Hay un fuerte énfasis en educar a los tomadores de decisiones. Este conocimiento es esencial para desarrollar estrategias de adaptación efectivas y garantizar que los interesados estén bien informados
 - **Consideraciones Económicas:** El proyecto reconoce los costos inmediatos asociados con la implementación de medidas de mejora y adaptación. Busca encontrar soluciones económicamente viables que puedan ser adoptadas por los propietarios forestales, mejorando así su capacidad para responder a los desafíos climáticos.
 - **Participación Comunitaria:** El proyecto reconoce la importancia de involucrar a las comunidades locales, especialmente a los jóvenes y las mujeres, en la gestión forestal. Su participación puede llevar a soluciones innovadoras y ayudar a combatir la despoblación rural.
 - **Planificación a Largo Plazo:** El enfoque en la planificación a largo plazo en lugar de ganancias a corto plazo es crítico. Este enfoque fomenta prácticas sostenibles que pueden resistir la variabilidad climática futura y promover la salud ecológica

Desde una perspectiva científica, el proyecto refuerza el enfoque adaptativo al cambio climático, alineado con investigaciones que destacan la importancia de la resiliencia ecológica y la conservación de la biodiversidad en sistemas forestales. Estudios previos (Kolström et al., 2011; Lindner et al., 2014) han señalado la necesidad de estrategias proactivas que combinen mitigación y adaptación, algo que CLIMAForest aborda mediante tecnologías digitales y transferencia de conocimiento.

En términos de biodiversidad, CLIMAForest incorpora prácticas para preservar y restaurar ecosistemas, como la diversificación de especies y la mejora del manejo del paisaje. Esto está en línea con recomendaciones internacionales para aumentar la resiliencia frente a perturbaciones como incendios y sequías (Seidl et al., 2017).

El proyecto no solo aporta soluciones tecnológicas, sino que también fomenta la inclusión social, promoviendo la participación de jóvenes y mujeres en áreas rurales, un aspecto crítico para la sostenibilidad a largo plazo. CLIMAForest refleja, en resumen, un enfoque interdisciplinario que une ciencia, tecnología y participación comunitaria para preservar la diversidad forestal. Este modelo es replicable en otras regiones y sienta las bases para una gestión adaptativa, resiliente y basada en la evidencia. La combinación de beneficios ecológicos,



sociales y climáticos posiciona estos enfoques como esenciales en la lucha contra los desafíos globales del cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es analizar la aplicabilidad y los beneficios potenciales de las metodologías desarrolladas por el grupo operativo CLIMAForest en la gestión de hábitats y biodiversidad en sistemas forestales, utilizando las herramientas GESCUENCAS y EVARHIS. El grupo Operativo ClimaForest, en el marco de este hilo conductor, centra sus esfuerzos y objetivos en los siguientes resultados: clima, suelo, hidrología, biodiversidad, economía forestal, sociología rural, digitalización y transferencia.

3. Metodología

En la consecución del objetivo principal, se simulará la aplicación GESCUENCAS y EVARHIS, las dos herramientas tecnológicas que sirven de apoyo en la toma de decisiones a escala de cuenca hidrográfica, en dos cuencas piloto: 1) Valle del Aragón y 2) Valle del Jerte. La finalidad última es aportar información útil para la gestión y planificación forestal, integrando la conservación de los hábitats y la biodiversidad.

3.

a. *Características de GESCUENCAS y EVARHIS*

La metodología GESCUENCAS (AA/16/0011/2), gráficamente descrita en la figura 1 se plantea sobre los conocimientos que emanan de ideas como la de los sistemas ambientales antropo-ecológicos (Naiman et al., 2005), la del continuo fluvial (Vanote et al., 1980) y del concepto de balance de Lane y equilibrio dinámico de los sistemas fluviales (LANE, 1955).

Se trata de un sistema de evaluación constituido por dos herramientas principales paralelas, el sistema de evaluación de la calidad ambiental (SECA) y el sistema de evaluación de la percepción social (SEPS). Como herramientas de apoyo para el desarrollo de la metodología, se hace uso de un Sistema de Información Geográfica (QGIS) y de un entorno de modelización hidrológica, a su vez implementado en QGIS, el Soil and Water Assessment Tool: SWAT, ambos de uso público libre. El modelo hidrológico y el sistema de información geográfica ayudan a obtener, organizar y presentar la información de manera geográficamente distribuida. El sistema se aplica en un territorio delimitado por la cuenca hidrográfica que pretenda estudiarse. Dicho territorio presenta un medio natural, constituido por componentes físicos y biológicos, estando a la vez inserto en un contexto de relaciones sociales y económicas.

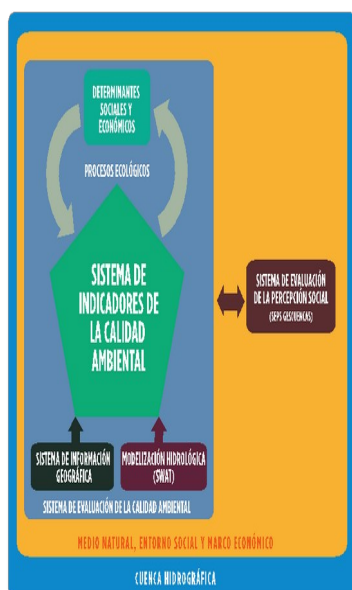


Figura 1. Esquema del diseño y flujo de información de la herramienta GESCUENCAS para la evaluación de la calidad ambiental.

En la búsqueda de indicadores de calidad ambiental para la gestión de la biodiversidad, su elección, organización de la información y presentación de los resultados, se ha diseñado en forma de estructura jerárquica en el SECA. La evaluación de la calidad (integridad) ambiental de las áreas de estudio integraría, por tanto, aspectos referidos a la calidad o integridad ambiental de cada uno de los siguientes componentes, que se consideran fundamentales:

- A) Condición de los hábitats.
- B) Condición de la biota.
- C) Condición del agua.
- D) Condición geomorfológica e hidrológica.
- E) Estado de los regímenes de perturbación.

Al estilo de las metodologías propuestas por Noss (1990) y Dale and Beyeler (2001), la evaluación de cada uno de estos componentes se hace atendiendo a algunos elementos relevantes de su composición, estructura y función, así como a atributos referidos a la integridad ecológica.

La herramienta EVARHIS (AA/17/0069/2) que evalúa el coste económico y de oportunidad de actuar o no para la mejora de la resiliencia de los ecosistemas frente a tres amenazas o riesgos hidrológico-forestales: incendios forestales, inundaciones y desertización.

Esta herramienta utiliza la metodología (Figura 2) propuesta por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), que desglosa el concepto de riesgo en tres variables: Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad y además integra la valoración económica de los servicios ecosistémicos en su marco de trabajo, con una metodología que utiliza como referencia fuentes de información oficiales y actualizadas.

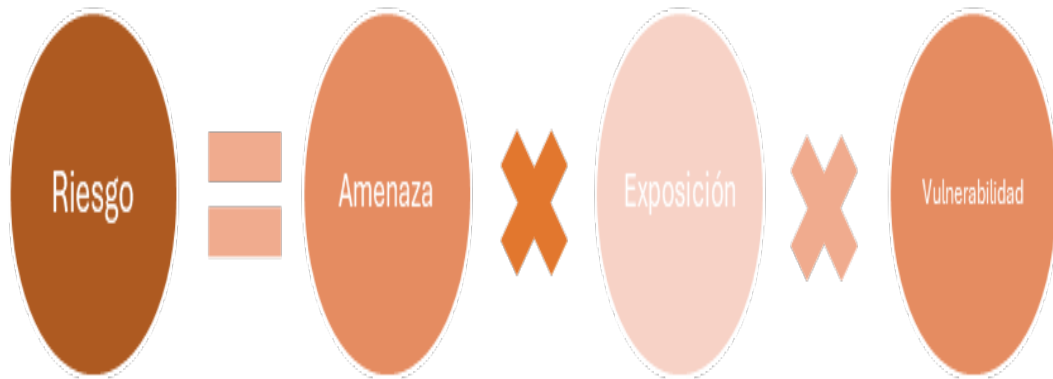


Figura 2. Metodología EVARHIS

EVARHIS incluye una evaluación de la vulnerabilidad, analizando la exposición, la susceptibilidad y la capacidad de adaptación a cambios externos. Esto es crítico para entender cómo responden diferentes ecosistemas a riesgos como las inundaciones o los incendios forestales. La herramienta define un marco metodológico general que incluye el cálculo del riesgo de erosión utilizando la metodología USLE, que considera elementos como la precipitación y la cobertura vegetal. Este marco es esencial para evaluar la contribución de diferentes usos del suelo al riesgo de inundaciones.

La metodología pone énfasis en la asignación espacial de valores económicos a diferentes territorios, permitiendo una comprensión más precisa de cómo los servicios ecosistémicos contribuyen a las economías y entornos locales. El proyecto utiliza datos del Inventario Forestal Nacional, que se actualiza periódicamente. Esto garantiza que las valoraciones económicas reflejen los precios de mercado actuales y los patrones de uso del suelo, facilitando comparaciones entre diferentes provincias de España. La metodología adopta un enfoque conservador al calcular el valor mínimo de los servicios proporcionados por los activos naturales. Esto implica valorar los servicios en términos de flujo o renta por hectárea y calcular rentas sostenibles, esenciales para la gestión a largo plazo de los ecosistemas. Para ello se utilizan diferentes métodos, el valor finalista de capitalización, los costes evitados-inducidos, la valoración contingente y el coste de viaje que permite inferir en la disposición a pagar para acceder a un lugar a partir de los costes de desplazamiento en que incurre el visitante. Con esta metodología se calcula el valor en unidades de flujo o renta (€/ha), el cálculo de la renta sostenible y el criterio conservador (cálculo del valor mínimo de los servicios proporcionados por los activos naturales).

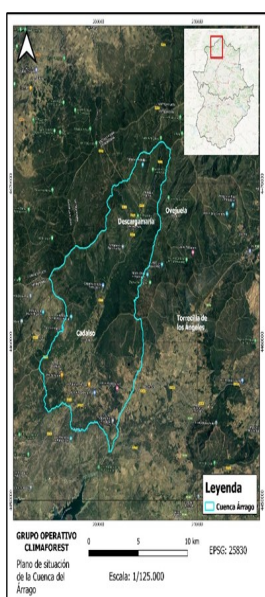


El proceso de valoración está respaldado por una cartografía específica (tamaño de pixel de 5 m) de uso del suelo creada para el proyecto EVARHIS. Esta incluye capas base que consideran factores como pendiente y productividad forestal potencial, fundamentales para comprender el contexto ecológico de los servicios valorados.

3.2 Áreas de estudio:

Los ríos Jerte y Árrago y sus afluentes (Figura 3), de gran importancia social, ecológica, cultural y económica, son los cursos fluviales en los cuales está previsto realizar las principales medidas de intervención y simulación de posibles escenarios para la gestión de la biodiversidad.

Estos cauces forman parte, junto con sus bosques de ribera, de la Red Natura 2000, en concreto del LIC Ríos Alagón y Jerte y LIC Ríos Árrago y Tralgas. Por otro lado, la cuenca piloto del río Jerte está dominada por el espacio LIC Sierra de Gredos y Valle del Jerte y la cuenca piloto del río Árrago está dominada por el espacio LIC Sierra de Gata. Por lo tanto, todo el conjunto del territorio de las cuencas piloto tiene gran importancia como corredor ecológico, hidrológico y de ecosistemas que albergan cientos de especies de fauna y flora, muchas de ellas protegidas, lo cual hace fundamental su conservación, integrando los conceptos de la planificación forestal.



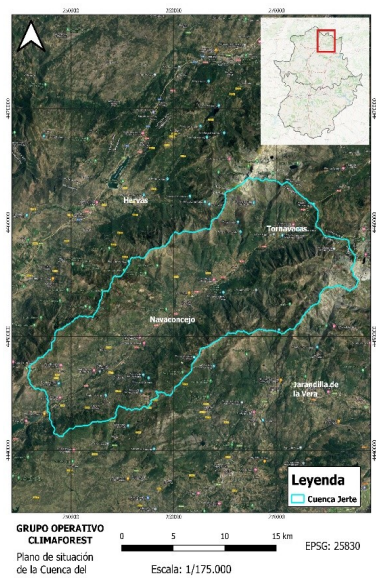


Figura 3. Mapas de localización de las cuencas piloto: Cuenca del Árrago (imagen izquierda) y Cuenca del Jerte (imagen derecha).

3.3. Aplicación de GESCUENCAS y EVARHIS

La implementación de las metodologías GESCUENCAS y EVARHIS en las cuencas piloto del Valle del Jerte y del Valle del Árrago se puede estructurar en varias etapas clave. A continuación, se presenta una metodología de las fases en que se divide el proceso:

Fase 1: Diagnóstico Inicial. Realizar un análisis exhaustivo de las condiciones actuales de las cuencas, incluyendo la calidad del agua, la biodiversidad y el uso del suelo. Esto se puede llevar a cabo utilizando el sistema Gescuencas para evaluar los indicadores ambientales y económicos existentes e identificar las áreas críticas que requieren atención, como zonas con problemas de calidad del agua o riesgo de incendios forestales.

Fase 2: Implementación de GESCUENCAS. Utilizar Gescuencas para realizar una valoración de la calidad ambiental y de los aspectos relativos a la biodiversidad en las áreas de estudio. Simular diferentes escenarios de gestión y cambios en el uso del suelo para evaluar su impacto en la cuenca, generando una nueva distribución de usos del suelo.

Fase 3: Aplicación de EVARHIS. Implementar la herramienta y simular la aplicación de medidas específicas en el territorio, como la creación de zonas de amortiguamiento con especies agroforestales que actúen como filtros verdes o alternativas paisajísticas que incrementen la heterogeneidad.

Evaluar cómo estas medidas afectan los riesgos de incendios, pérdida de suelo y avenidas, así como el valor económico total los servicios ecosistémicos prestados.

Fase 4: Monitoreo y evaluación. Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar la efectividad de las medidas implementadas y realizar ajustes según sea necesario. Esto implica recalcular los riesgos y beneficios económicos de los cambios aplicados, asegurando que se mantenga un enfoque adaptativo en la gestión de las cuencas

Fase 5: Participación comunitaria y transferencia de conocimientos. Involucrar a las comunidades locales en el proceso de toma de decisiones, asegurando que sus necesidades y conocimientos sean considerados en la gestión de las cuencas

Facilitar la transferencia de conocimientos y buenas prácticas entre los grupos operativos y los agentes del territorio, promoviendo la colaboración entre explotaciones forestales y agrícolas



Figura 4. Pinar de pino resinero (imagen izquierda) y misma masa forestal afectada por incendio en el Valle del Árrago (imagen derecha).

La importancia de la conservación de los hábitats y la biodiversidad será particularmente determinante en la aplicación y simulación de medidas de gestión en el territorio. En la la aplicación de las actuaciones y simulaciones en torno a la gestión de la biodiversidad, a modo de ejemplo, se atenderá a la zona afectada por el incendio forestal de Pinofranqueado, ocurrido en mayo de 2023, que afectó en gran medida al Valle del Árrago (Figura 4), siendo necesaria su restauración hidrológica-forestal.

4. Resultados

Algunos de los resultados esperados de la aplicación de las metodologías propuestas consisten en los productos directos de salida de las herramientas GESCUENCAS y EVARHIS, mientras que la posibilidad de generación de escenarios y simulaciones que dichas herramientas permiten, aportarían información adicional con el potencial para el contraste de resultados entre alternativas de gestión de la biodiversidad en las áreas de estudio.



Algunos de estos resultados potenciales se relacionan con los siguientes aspectos:

- Evaluación de la biodiversidad: La implementación de GESCUENCAS permitirá una evaluación detallada de la biodiversidad, posibilitando simulaciones de escenarios para analizar, por ejemplo, el impacto de diversas configuraciones de uso del suelo. Esto ayudará a identificar prácticas óptimas de gestión del territorio que mejoren la biodiversidad, considerando factores socioeconómicos.
- Valoración de servicios ecosistémicos con escenarios alternativos: Mediante el uso de EVARHIS, podemos simular diferentes escenarios de uso del suelo y medidas de conservación para evaluar sus impactos económicos en los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, comparar escenarios con distintos niveles de cobertura forestal permitirá identificar las configuraciones más beneficiosas para la regulación hídrica.
- Evaluación del riesgo de desastres y estrategias de mitigación: Simulando posibles escenarios de desastres (como inundaciones o incendios forestales) bajo diferentes configuraciones de uso del suelo, se podrá evaluar la efectividad de diversas estrategias de mitigación. Esto permitirá priorizar intervenciones que reduzcan riesgos al tiempo que promuevan la biodiversidad.
- Monitoreo y gestión adaptativa: Establecer indicadores para monitorear los resultados permitirá realizar ajustes en tiempo real a las estrategias de gestión basados en las simulaciones de escenarios. Este enfoque adaptativo asegura que la gestión de la biodiversidad siga siendo efectiva frente a las condiciones ambientales cambiantes.
- Implementación de proyectos piloto con análisis de escenarios: Seleccionar áreas piloto para probar medidas innovadoras de conservación permitirá simular sus impactos en la biodiversidad local. Al comparar los resultados de diferentes escenarios, podremos perfeccionar estrategias para su aplicación a mayor escala.
- Participación comunitaria mediante talleres de escenarios: Involucrar a los actores locales en simulaciones de escenarios puede mejorar la comprensión y el apoyo de la comunidad hacia las iniciativas de biodiversidad. Se pueden organizar talleres para discutir posibles resultados y recopilar aportes sobre estrategias de gestión preferidas, fomentando un enfoque colaborativo. Como se recomienda en el proyecto LIFE BIORGEST, La aplicación de técnicas complementarias a las definidas por el modelo silvícola para mejorar la biodiversidad se conoce con el nombre de silvicultura «de retención» (retention forestry) y se incluye en la aproximación de la «gestión forestal integrativa» que amplía el foco a la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático. Estas técnicas pueden aplicarse en cualquier enfoque o modelo silvícola y consisten en mantener o restaurar elementos clave de bosques maduros árboles viejos grandes, árboles con singularidades poco comunes, madera muerta de grandes dimensiones o apertura de claros, con el objetivo de proveer continuidad en la estructura, la función y la composición del bosque a lo largo de generaciones.

5. Discusión



La gestión sostenible de los bosques, como la promovida por el Grupo Operativo CLIMAForest, es fundamental para la conservación de los hábitats, la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. La biodiversidad forestal, considerada una medida clave de resiliencia, asegura la estabilidad de los ecosistemas frente a perturbaciones (Bravo et al., 2024). En este contexto, CLIMAForest aplica tecnologías innovadoras y enfoques basados en evidencia para la gestión de la biodiversidad en sistemas forestales. Con esta idea, el proyecto aborda la integración de tecnologías avanzadas y principios ecosistémicos en estrategias de manejo sostenible. Este enfoque representa una oportunidad para mitigar los efectos adversos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad, aunque también enfrenta desafíos sustanciales en su implementación.

Las herramientas GESCUENCAS y EVARHIS ofrecen la capacidad de integrar datos espaciales y económicos en la toma de decisiones, permitiendo un manejo más holístico de las cuencas hidrográficas en las áreas de estudio. Este enfoque es coherente con estudios recientes que destacan la necesidad de incorporar herramientas geoespaciales para la evaluación de servicios ecosistémicos y riesgos ambientales (Crossman et al., 2013; Bagstad et al., 2014). Sin embargo, la efectividad de estas herramientas dependerá en gran medida de la calidad y disponibilidad de datos locales, así como de la capacidad de los gestores para interpretar y aplicar los resultados en contextos específicos.

Al implementar prácticas de conservación y manejo sostenible, como la reforestación con especies nativas, la protección de hábitats críticos y la promoción de corredores ecológicos, se fomenta la estabilidad y adaptabilidad de los ecosistemas forestales. Una biodiversidad rica y bien gestionada asegura que los bosques puedan mantener sus funciones esenciales, como el ciclo de nutrientes, la regulación del agua y el almacenamiento de carbono, incluso frente a amenazas como el cambio climático y las actividades humanas. Además, la diversidad genética, funcional y estructural del sistema forestal proporciona una "red de seguridad" ecológica, donde diferentes especies pueden suplir funciones críticas si algunas fallan debido a perturbaciones (Pickering et al. 2024).

Los enfoques participativos como los desarrollados en el CLIMAForest, que involucran a las comunidades locales en la gestión forestal, también refuerzan la resiliencia, asegurando que las medidas de conservación sean culturalmente relevantes y económicamente viables. Estos esfuerzos no solo protegen la biodiversidad, sino que también mejoran los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades humanas que dependen de los bosques. Algunos estudios han demostrado el interés de estos enfoques participativos en la gestión de la biodiversidad en áreas forestales, a través de la involucración de la implicación social en la toma de decisiones (Vassiliki & Vrahnakis, 2024),

El énfasis en la preservación de hábitats y la restauración de áreas degradadas, como el Valle del Árrago tras los incendios forestales, refleja un compromiso con los principios de la restauración ecológica (Hobbs et al., 2011). Estrategias como la



diversificación de especies y la creación de corredores ecológicos se alinean con las recomendaciones internacionales para aumentar la resiliencia frente a perturbaciones como incendios y sequías (Seidl et al., 2017). Sin embargo, estas medidas requieren una planificación minuciosa para evitar efectos contraproducentes, como la introducción de especies no adaptadas a las condiciones locales.

Aunque el proyecto reconoce los costos asociados con la implementación de medidas de adaptación, la inclusión de herramientas como EVARHIS para valorar los servicios ecosistémicos puede facilitar el diseño de estrategias económicamente viables. Esto es crucial, ya que estudios previos han demostrado que las barreras económicas suelen ser un impedimento significativo para la adopción de prácticas sostenibles por parte de los propietarios forestales (Mäkinen et al., 2019). Además, la participación comunitaria, particularmente de jóvenes y mujeres, podría contribuir a la aceptación y sostenibilidad de las medidas implementadas, reforzando la cohesión social en áreas rurales.

Un aspecto destacable de CLIMAFOREST es su potencial para ser replicado en otras regiones con condiciones similares. La combinación de tecnologías avanzadas, participación comunitaria y planificación adaptativa crea un modelo robusto que podría ser adaptado a diversos contextos. Sin embargo, la transferencia de conocimiento y tecnología requerirá capacitación y apoyo continuo para los gestores locales, así como un marco político que respalde la colaboración interinstitucional.

Entre las posibles limitaciones que podrían ponerse de manifiesto, destacan la dependencia de datos específicos y la necesidad de calibrar algunos de los indicadores de las herramientas para escenarios locales. Además, aunque el proyecto enfatiza la planificación a largo plazo, será esencial monitorizar y evaluar continuamente los impactos de las medidas implementadas para garantizar que cumplan sus objetivos. La inclusión de indicadores socioeconómicos podría enriquecer las evaluaciones, proporcionando una visión más completa del impacto de las intervenciones.

6. Conclusiones

El Grupo Operativo CLIMAFOREST ejemplifica un enfoque interdisciplinar que combina ciencia, tecnología y participación comunitaria para abordar los desafíos del cambio climático y algunas perturbaciones asociadas en la gestión de la biodiversidad en áreas forestales. Las herramientas GESCUENCAS y EVARHIS ofrecen un enfoque más holístico, en comparación con otros métodos tradicionales, permitiendo la integración de factores ambientales, económicos y sociales. Sin embargo, su efectividad depende de la validez de los datos de entrada y de la idoneidad de los modelos utilizados a escala local.



Aunque enfrenta limitaciones inherentes a la complejidad de los sistemas forestales y a la gestión adaptativa, sus avances en tecnologías espacialmente distribuidas y la en la valoración económica podrían ofrecer un modelo replicable y prometedor para la sostenibilidad forestal.

En comparación con la literatura existente, el uso de GESCUENCAS y EVARHIS se alinea con las tendencias generales en la gestión ambiental, que enfatizan la importancia de las herramientas de evaluación integradas. Los estudios realizados por otros autores han demostrado que este tipo de herramientas pueden mejorar significativamente la sostenibilidad y la adaptabilidad de las estrategias de gestión forestal, particularmente frente al cambio climático.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen el asesoramiento y el aporte de información cualificada para la realización del proyecto del siguiente personal científico técnico:

- Asociación de Propietarios Forestales Valle del Árrago.
- Javier Navalpotro Herrero. Ingeniero forestal. Proyecto Mosaico.
- Juan Carlos Giménez Fernández. Ingeniero de Montes. Universidad de Extremadura.
- Consejería de Gestión Forestal y Mundo Rural.
- Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Sostenible.

8. Bibliografía

Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. 2014. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 7, 74–83.

Bravo, F., van der Werf, W., Tognetti, R., Mazía, N., Anten, N., Piazza, M.-V., Tomelleri, E. and Pretzsch, H. 2024. Unleashing the Power of Plant Structural and Functional Diversity: From Common Observations to Theory and Management Models. *Food Energy Secur*, 13: e70005. <https://doi.org/10.1002/fes3.70005>

Crossman, N. D., Burkhard, B., & Nedkov, S. 2012. Quantifying and mapping ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1–2), 1–4.

Dale, H.V. and Beyeler, S.C. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1, 3-10.



Hobbs, R. J., Hallett, L. M., Ehrlich, P. R., & Mooney, H. A. 2011. Intervention ecology: Applying ecological science in the twenty-first century. *BioScience*, 61(6), 442–450.

Kolström, M., Lindner, M., Maroschek, M., Seidl, R., Lexer, M. J., Netherer, S., Kremer, A., Delzon, S., Barbati, A., Marchetti, M., & Corona, P. 2011. Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry. *Forests*, 2(4), 961–982. <https://doi.org/10.3390/f2040961>

Lane EW. 1955. The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 81 (art. 745).

LAVADO, J. 2018. Sistema de indicadores para la evaluación de la calidad ambiental en cuencas hidrográficas. Universidad de Extremadura. Cáceres.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., García-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., & Marchetti, M. 2014. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 146, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>

M. A. Pickering., Agata, Elia., Marco, Girardello., Gonzalo, Otón., Samuele, Capobianco., Matteo, Piccardo., Guido, Ceccherini., Giovanni, Forzieri., Mirco, Migliavacca., Alessandro, Cescatti. 2024. Assessing the relationship between forest structural diversity and resilience in a warming climate. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-16017>

Mäkinen, H., Huttunen, S., Primmer, E., Repo, A., & Hildén, M. 2015. Policy coherence in climate change mitigation: An ecosystem service approach to forests as carbon sinks and bioenergy sources." *Forest Policy and Economics*, 50, 153–162.

Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biol.* 4:355–364.

Robert J. Naiman, Henri Décamps and Michael E. McClain. 2005. *Riparia. Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press, London, 448pp.

Seidl, R., Spies, T.A., Peterson, D.L., Stephens, S.L. and Hicke, J.A. 2016. Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *J Appl Ecol*, 53: 120-129. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511>



Seidl, R., Spies, T.A., Peterson, D.L., Stephens, S.L. and Hicke, J.A. 2016. REVIEW: Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *J Appl Ecol*, 53: 120-129. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12511>

Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, and C. E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.

Vassiliki, Kleftoyanni., Michael, Vrahnakis. 2024. Envisaging Participatory Management in Protected Areas: Local Response to Proposed Conservation Actions in Relation to Environmental Orientation. *Land*, 13(7):976-976.