

# **Subvenciones para las entidades del tercer sector u organizaciones no gubernamentales que desarrollen actividades de interés general en materia de investigación científica y técnica de carácter medioambiental**

Resumen de las investigaciones 2022



## **Análisis de la aceptación de nidales artificiales por parte de paseriformes en explotaciones de áridos restauradas y activas a lo largo del eje Norte-Sur peninsular: implicaciones para la restauración ecológica funcional en paisajes antrópicos**

### **Resumen (Abstract)**

La restauración de ecosistemas alterados por la actividad extractiva ha evolucionado en las últimas décadas hacia enfoques más integradores, centrados no solo en la recuperación geomorfológica del paisaje, sino también en la restitución de sus funciones ecológicas clave. En este contexto, el presente proyecto tiene como eje central la evaluación del uso de nidales artificiales por parte de especies de paseriformes insectívoros en explotaciones de áridos activas y restauradas distribuidas a lo largo de un gradiente latitudinal norte-sur de la Península Ibérica.

El objetivo fundamental del estudio ha sido comprobar el grado de aceptación de estas estructuras de nidificación en ambientes antrópicos sometidos a diferentes fases de transformación ecológica, así como determinar su valor como indicadores de recuperación faunística en escenarios de restauración minera. Para ello, se llevó a cabo la instalación de un centenar de nidales estandarizados en tres enclaves mineros —uno atlántico (Arrigorriaga, Bizkaia), uno mesomediterráneo (Almenara de Tormes, Salamanca) y uno termomediterráneo (Torre de las Palomas, Málaga)— con características ecológicas, edafológicas y de uso del suelo heterogéneas.

La monitorización de los nidales durante el ciclo reproductivo de 2022 permitió documentar tasas medias de ocupación del 27%, con una notable variabilidad entre enclaves y con claros patrones de selección relacionados con la orientación, el tipo de vegetación acompañante y el grado de perturbación humana. Los resultados permiten inferir que la implementación de cajas-nido puede ser una estrategia eficaz para acelerar procesos de refaunación en entornos restaurados, así como una herramienta sensible para medir el éxito ecológico de los programas de restauración en contextos mineros.

### **Palabras clave**

Nidales artificiales, restauración ecológica, paseriformes ibéricos, refaunación, biodiversidad funcional, bioindicadores, minería y conservación.

### **Introducción**

En los últimos años, la necesidad de abordar los procesos de restauración ecológica desde una perspectiva sistémica y no meramente paisajística ha ganado fuerza dentro de las ciencias ambientales. Tradicionalmente, las intervenciones en espacios mineros degradados se han centrado en la restitución topográfica y visual del terreno, priorizando la estabilidad geomorfológica o la creación de “pantallas verdes” que poco o nada contribuyen a la recuperación funcional de los

ecosistemas impactados. Sin embargo, un número creciente de investigaciones y experiencias aplicadas ha demostrado que la recolonización espontánea o inducida de fauna silvestre —especialmente de especies con alta dependencia de hábitats estructurados y funcionales— puede y debe considerarse un indicador esencial de éxito en cualquier proceso restaurador.

Entre los distintos grupos taxonómicos utilizados como herramientas de bioevaluación, las aves —y en particular los passeriformes insectívoros— ocupan una posición privilegiada por su alta sensibilidad a las alteraciones microambientales, su capacidad de respuesta rápida a la mejora del hábitat y la facilidad relativa con la que se pueden detectar, censar y estudiar sus comportamientos reproductivos. En este marco conceptual se sitúa el presente trabajo, cuyo propósito fue analizar de forma sistemática la respuesta de distintas especies de passeriformes a la instalación de nidales artificiales en explotaciones de áridos en diferentes fases de actividad o restauración, distribuidas a lo largo del eje bioclimático Norte-Sur peninsular. La hipótesis de partida plantea que la colonización efectiva de los nidales no solo es posible en estos entornos, sino que está condicionada por un conjunto de factores ambientales que pueden ser gestionados para optimizar el éxito reproductivo de la avifauna y, por tanto, acelerar la funcionalización del hábitat restaurado.

## Materiales y Métodos

La estrategia metodológica del estudio fue diseñada cuidadosamente para abarcar un amplio rango de condiciones ambientales representativas de los diferentes biomas presentes en el eje Norte-Sur de la península. Se seleccionaron tres emplazamientos con características ecológicas contrastadas: la cantera de Arrigorriaga en Bizkaia, con influencia atlántica y alta pluviometría; la gravera restaurada de Almenara de Tormes en Salamanca, ubicada en una zona de transición mesomediterránea; y la explotación de Torre de las Palomas en Málaga, representativa de ambientes termomediterráneos semiáridos.

En cada uno de estos enclaves se instalaron cajas-nido estandarizadas fabricadas en madera tratada con aceite de linaza, resistentes a la intemperie, con diseño específico para favorecer la nidificación de páridos y especies similares. La colocación de los nidales se realizó atendiendo a criterios técnico-ecológicos previamente establecidos: altura de colocación entre 1.5 y 3 metros, preferencia por orientación Este o Sureste, evitación de zonas de alta perturbación humana (tránsito de maquinaria), y selección de sustratos arbóreos preferentemente autóctonos. Todos los nidales fueron georreferenciados y codificados para su seguimiento individual.

El periodo de monitorización abarcó desde febrero de 2022 (momento de instalación antes del inicio de la nidificación) hasta octubre del mismo año, incluyendo visitas periódicas para el registro de ocupación, identificación de especies nidificantes, estadios de desarrollo reproductivo, y evaluación de posibles

interacciones competitivas o depredadoras. Asimismo, se llevó a cabo una recogida sistemática de variables de entorno: cobertura vegetal, densidad de estratos, nivel de aislamiento acústico, exposición solar, humedad relativa y presencia de refugios naturales alternativos.

### Resultados

Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis de partida, demostrando una ocupación efectiva de los nidales artificiales en todos los enclaves, aunque con variabilidad interlocal y una marcada dependencia de las condiciones microambientales. La tasa media de ocupación global fue del 27%, alcanzando valores máximos en el enclave restaurado de Almenara de Tormes (35%) y mínimos en la explotación activa de Torre de las Palomas (18%).

Las especies nidificantes más frecuentes fueron el herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*) y el carbonero común (*Parus major*), seguidas por el carbonero garrapinos (*Periparus ater*), el herrerillo capuchino (*Lophophanes cristatus*) y, en menor medida, el colirrojo tizón (*Phoenicurus ochruros*) y el gorrión molinero (*Passer montanus*). Se observaron diferencias significativas en la selección de nidales en función de la orientación, siendo los orientados al Este los preferidos por la mayoría de especies. Las cajas situadas en entornos con vegetación estructurada (presencia simultánea de estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo) fueron significativamente más ocupadas que aquellas localizadas en zonas de revegetación incipiente o dominadas por especies exóticas.

En el enclave de Málaga se documentaron intentos de ocupación por parte de especies no objetivo, como el estornino negro (*Sturnus unicolor*), así como un evento de depredación probablemente protagonizado por un mustélido. Estos hallazgos apuntan a la necesidad de considerar también las dinámicas tróficas asociadas a la presencia de nidales en ambientes con elevada presión faunística.

### Discusión

La instalación de nidales artificiales en ambientes restaurados ha demostrado ser una herramienta de alto valor no solo para favorecer el asentamiento de avifauna, sino también para evaluar la calidad funcional del hábitat. Los resultados obtenidos sugieren que ciertos tipos de paseriformes, especialmente los insectívoros generalistas y especialistas de sotos, pueden colonizar activamente entornos con grado de restauración variable, siempre que se les proporcionen condiciones microambientales adecuadas y se minimicen las perturbaciones externas.

El análisis comparativo entre enclaves revela que la restauración vegetal no es condición suficiente para garantizar el éxito de la refaunación: la complejidad estructural del hábitat, la conectividad ecológica con zonas naturales próximas, y la gestión del uso del suelo son determinantes en la elección de los sitios de anidación. Además, la latitud parece desempeñar un papel relevante, ya que las condiciones de humedad y cobertura del norte peninsular resultaron más propicias para la nidificación. Estos resultados deben ser interpretados a la luz de la biología

reproductiva de las especies, muchas de las cuales presentan un alto grado de selectividad microhábitat durante la fase reproductiva.

### Conclusiones

Este estudio valida de forma empírica el uso de nidales artificiales como herramienta de restauración ecológica y como indicador de recuperación funcional de medios mineros restaurados. La presencia de especies reproductoras en nidales instalados en zonas degradadas y posteriormente restauradas indica que estos entornos pueden llegar a alcanzar niveles funcionales equivalentes a los de ecosistemas naturales, al menos en términos de disponibilidad de refugio y alimento.

La integración de infraestructura para la fauna —como cajas-nido— en los planes de restauración debe ser considerada una prioridad desde la fase de diseño, no como una acción complementaria sino como un elemento estructural. Esta estrategia puede contribuir no solo al restablecimiento de procesos ecológicos clave como la reproducción, la dispersión y la regulación trófica, sino también al cumplimiento de los objetivos de conservación y biodiversidad establecidos en normativas nacionales y europeas.

## Diseño y validación de modelos de gestión para hábitats temporales en explotaciones mineras del eje Norte-Sur peninsular: una aproximación funcional para la conservación de fauna entomófaga durante la fase activa de explotación

### Resumen (Abstract)

El presente estudio se enmarca en un contexto técnico-científico que busca transformar la concepción tradicional de la restauración ecológica en ambientes mineros, apostando por la implementación de medidas funcionales previas a la finalización del proceso extractivo. En lugar de esperar al cierre definitivo de la explotación para acometer actuaciones de recuperación ambiental, esta propuesta plantea la activación ecológica temprana de los espacios ociosos —aquellos no activos temporalmente— como unidades funcionales que puedan actuar como hábitats transitorios de alto valor estratégico para determinadas especies faunísticas, concretamente aquellas con hábitos entomófagos, como aves insectívoras y quirópteros.

A través de la identificación, cartografía y análisis de teselas ecológicas con potencialidad biológica en diferentes explotaciones mineras representativas del gradiente latitudinal peninsular, se diseñó un protocolo para su gestión como islas de biodiversidad. Estas unidades fueron evaluadas mediante criterios edafoclimáticos, estructurales y funcionales que permitieron jerarquizar su idoneidad como soporte de procesos ecológicos activos, incluso en fase de explotación. El estudio integra además un enfoque participativo con empresas

operadoras, mediante entrevistas a personal técnico y operarios, y plantea un marco operativo de fácil transferencia para su adopción en otras explotaciones.

Los resultados evidencian que estas áreas temporales no solo poseen una alta capacidad de acumulación de funciones ecosistémicas —como refugio, alimentación y reproducción para determinadas especies— sino que, adecuadamente manejadas, pueden irradiar beneficios hacia los entornos circundantes, mejorando la conectividad ecológica y sirviendo de nodos tróficos clave en paisajes antrópicos fragmentados.

### Palabras clave (Keywords)

Hábitats temporales, explotaciones mineras, entomofauna, resiliencia ecológica, restauración funcional, conectividad, biodiversidad aplicada, planificación adaptativa

### Introducción

A lo largo de las últimas décadas, la gestión ambiental en explotaciones de áridos ha estado principalmente condicionada por una visión postproductiva del territorio. Es decir, las acciones de restauración se ejecutan, por lo general, una vez cesa la actividad extractiva, basándose en la recuperación de la estabilidad topográfica y,

en el mejor de los casos, en la revegetación superficial con especies de bajo valor ecológico. Esta aproximación pasiva y tardía genera un vacío funcional durante los años de operación minera, donde amplias áreas del terreno permanecen inactivas pero excluidas de cualquier planificación ecológica, pese a tener un enorme potencial como núcleos temporales de biodiversidad.

El presente trabajo parte de una visión alternativa, que entiende estos espacios como sistemas abiertos con capacidad de acumulación ecológica parcial incluso durante la fase de explotación activa. Esta estrategia plantea una revalorización de los espacios ociosos como hábitats funcionales temporales, cuya gestión adaptativa puede aportar beneficios tangibles no solo para la fauna local, sino también para el conjunto del paisaje ecológico regional. En particular, se propone focalizar la intervención sobre grupos faunísticos con un alto valor trófico y funcional, como es el caso de las aves insectívoras y los quirópteros, considerados depredadores generalistas esenciales para el equilibrio de los ecosistemas mediterráneos y atlánticos.

En este sentido, se plantea como hipótesis principal que la identificación, selección y activación ecológica de teselas mineras de uso temporal puede fomentar procesos ecológicos de alta relevancia incluso antes de la fase de restauración final. El objetivo es convertir esas áreas intermedias en verdaderos sumideros de biodiversidad, adaptados a las condiciones del gradiente Norte-Sur peninsular, y capaces de mejorar la conectividad trófica y estructural de los espacios explotados.

## Materiales y Métodos

La metodología seguida en este estudio se ha estructurado en una secuencia de acciones interrelacionadas que abarcan desde la fase diagnóstica hasta el diseño operativo de gestión.

En primer lugar, se seleccionaron cuatro explotaciones mineras representativas de las principales regiones bioclimáticas de la Península Ibérica: Arrigorriaga (Vizcaya), Numancia (Zaragoza), Almenara de Tormes (Salamanca) y Lorca (Murcia). Estas explotaciones ofrecen una combinación diversa de condiciones ecológicas, desde paisajes atlánticos húmedos hasta entornos mediterráneos semiáridos. En cada una de ellas se procedió a una cartografía detallada de las teselas paisajísticas mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS), utilizando como base las ortofotografías más actualizadas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Las teselas fueron evaluadas en función de criterios ecológicos clave como la cobertura vegetal, el grado de alteración antrópica, la pendiente, la textura del suelo, la presencia de agua, y su situación relativa respecto a los frentes de explotación. Para estandarizar la valoración se diseñó una matriz multicriterio de calificación ecológica, donde cada variable se puntuaba según su contribución potencial a la habitabilidad del área por parte de la fauna entomófaga.

Posteriormente, se elaboró una jerarquización de hábitats temporales según su idoneidad ecológica: desde áreas óptimas (valoración >35) hasta enclaves desfavorables (<10). Esta jerarquización permitió seleccionar unidades prioritarias

para intervenciones piloto de activación ecológica. Complementariamente, se propuso un conjunto de tareas mínimas necesarias para la gestión adaptativa de estas áreas: delimitación física, control de residuos, aportes de suelo fértil, riegos ocasionales, siembra de especies nectaríferas o entomófilas, y actuaciones silvícolas dirigidas.

En paralelo, se diseñó una encuesta de percepción dirigida a operarios y técnicos de las explotaciones para estimar la presencia y actividad de diferentes grupos faunísticos (aves, quirópteros, reptiles, anfibios), especialmente en ausencia de estudios de campo formales. Esta información permitió afinar la selección de hábitats en función de la fauna realmente presente en cada enclave.

### Resultados

Los análisis espaciales realizados permitieron cartografiar un total de 147 teselas ecológicas en las explotaciones estudiadas, de las cuales 40 fueron clasificadas como hábitats temporales con algún grado de idoneidad para fauna entomófaga. La superficie total cartografiada como funcionalmente apta ascendió a más de 49 hectáreas, lo cual representa una oportunidad extraordinaria de restauración funcional anticipada sin necesidad de detener la producción minera.

Las condiciones más favorables para el establecimiento de hábitats entomófagos se localizaron en las explotaciones de Almenara (riberas con vegetación espontánea) y Arrigorriaga (matorrales atlánticos). Las condiciones menos

propicias se observaron en zonas altamente degradadas y sin cobertura vegetal como las cunetas operativas de Numancia.

La matriz de valoración ecológica confirmó que factores como la proximidad a zonas restauradas, la presencia de agua intermitente, y la cobertura vegetal espontánea fueron determinantes en la clasificación de las teselas. A nivel faunístico, los operarios reportaron observaciones frecuentes de aves insectívoras (principalmente *Phoenicurus ochruros*, *Hirundo rustica*, *Parus major*) y quirópteros de pequeño tamaño, especialmente en áreas próximas a bosquetes o charcas temporales.

### Discusión

Los hallazgos del estudio confirman que las explotaciones mineras activas albergan, en su interior, una estructura paisajística mucho más diversa de lo que habitualmente se reconoce desde el punto de vista de la funcionalidad ecológica. Las áreas temporales inactivas no deben interpretarse como espacios residuales, sino como potenciales reservas de biodiversidad en fase embrionaria que, bajo un manejo adaptativo y planificado, pueden ejercer un papel clave en la conservación de especies tróficamente relevantes.

Además, el enfoque propuesto rompe con el paradigma de la restauración post-productiva, apostando por un modelo dinámico de restauración funcional que se inicia incluso en paralelo con la explotación. Este modelo tiene el valor añadido de favorecer la memoria ecológica del sitio, evitar la pérdida total del suelo fértil, y

facilitar el asentamiento progresivo de comunidades biológicas funcionales, que luego podrán extenderse a las áreas restauradas definitivas.

Es importante señalar que la participación activa de los operadores mineros — mediante su implicación directa en la identificación de fauna y en la implementación de medidas— fue clave para la viabilidad del proyecto. Esta estrategia no solo mejora la transferencia técnica del modelo propuesto, sino que promueve la corresponsabilidad empresarial en la conservación de la biodiversidad.

### **Conclusiones**

Este proyecto demuestra que los hábitats temporales en explotaciones de áridos no son una entelequia teórica, sino una realidad tangible con un alto potencial de funcionalización ecológica. Lejos de ser espacios marginales, estas unidades pueden convertirse en nodos críticos para el mantenimiento y expansión de fauna entomófaga de alto valor funcional, anticipando los beneficios de la restauración final y mejorando la resiliencia ecológica del paisaje minero.

La propuesta metodológica desarrollada aquí —basada en la cartografía GIS, el análisis multicriterio, y la participación operativa— ofrece una herramienta sencilla y replicable que puede ser integrada en planes de gestión ambiental sin comprometer la viabilidad económica de la explotación. Se recomienda su adopción como parte de una política proactiva de conservación, que transforme los espacios mineros en mosaicos dinámicos de biodiversidad, incluso en pleno funcionamiento operativo.

## Protocolo de enmienda ecológica para restauraciones fallidas en canteras del gradiente Norte-Sur peninsular mediante mosaicos de plantaciones funcionales como soporte trófico y sumideros de carbono

### Resumen (Abstract)

El presente proyecto responde a una problemática crítica en la restauración ambiental contemporánea: la existencia de actuaciones fallidas en canteras degradadas que, aun tras intervenciones formales, no logran recuperar la funcionalidad ecológica ni promover procesos de sucesión secundaria efectivos. En este contexto, se propone un protocolo de restauración activa mediante la implementación de mosaicos vegetales funcionales, diseñados con criterios ecológicos específicos para optimizar el soporte trófico, la mejora edáfica y el secuestro de carbono atmosférico. El enfoque se ha aplicado de forma experimental y comparativa en distintas canteras del eje Norte-Sur de la Península Ibérica, caracterizadas por condiciones edafoclimáticas contrastadas y antecedentes de restauración ineficaz. El protocolo incorpora especies pioneras, polinizadoras, fijadoras de nitrógeno y bioacumuladoras de carbono, seleccionadas a partir de un análisis fitosociológico y funcional del territorio. Los resultados demuestran una recuperación significativa de funciones ecosistémicas clave, como la colonización espontánea de fauna silvestre, la mejora de los parámetros fisicoquímicos del suelo y la activación del ciclo trófico primario. Esta propuesta constituye una herramienta replicable y escalable en el marco de la

restauración ecológica funcional, con especial aplicabilidad en entornos mineros y degradados.

### Palabras clave (Keywords)

Restauración funcional, canteras degradadas, mosaico vegetal, especies facilitadoras, sucesión ecológica, restauración fallida, vegetación funcional, servicios ecosistémicos, sumideros de carbono, soporte trófico, resiliencia ecológica, rehabilitación minera

### Introducción

Las restauraciones ecológicas emprendidas sobre canteras y otros entornos antrópicos altamente degradados han estado históricamente dominadas por enfoques ingenieriles que, si bien han contribuido a la estabilización geomorfológica y la reducción de riesgos geotécnicos, han descuidado aspectos esenciales vinculados a la recuperación ecológica integral. En numerosos casos, se han implantado especies vegetales sin valor funcional ni adaptativo, priorizando la cobertura superficial rápida sobre la estructuración del ecosistema. Estas actuaciones han producido paisajes “verdes” estéticamente aceptables, pero ecológicamente inertes, incapaces de activar procesos naturales de recolonización

faunística, regeneración edáfica o reciclaje de nutrientes. Esta situación define lo que denominamos restauraciones fallidas.

El objetivo central de este proyecto es superar dicho modelo deficiente mediante un protocolo de enmienda ecológica activa que introduzca heterogeneidad estructural y funcional a través de mosaicos vegetales planificados. Se parte de una visión holística del proceso de restauración, entendida no como la simple reintroducción de cobertura vegetal, sino como la reactivación de funciones ecosistémicas críticas, entre las que destacan la generación de soporte trófico para la fauna silvestre, la mejora de la calidad y porosidad del suelo, la regulación microclimática y el secuestro de carbono como servicio ecosistémico global. La hipótesis de partida es que, mediante la implantación estratégica de mosaicos de vegetación funcional, es posible transformar paisajes restaurados fallidamente en núcleos vivos, resilientes y ecológicamente sostenibles.

### Materiales y Métodos

El diseño metodológico se estructuró a partir de una selección de tres canteras situadas a lo largo del gradiente latitudinal Norte-Sur de la Península Ibérica, representando contextos biogeográficos y climáticos contrastados: una explotación caliza abandonada en el entorno atlántico de Asturias, una gravera restaurada en la meseta central de Salamanca, y una cantera activa en ambiente termomediterráneo de Málaga. Cada enclave fue diagnosticado previamente para identificar las causas específicas del fallo restaurador, incluyendo compactación

del sustrato, escasa diversidad vegetal, deficiencia en nutrientes edáficos y falta de conectividad ecológica.

El protocolo de enmienda se basó en la implantación de mosaicos vegetales compuestos por combinaciones sinérgicas de especies con distintas funciones ecológicas: plantas fijadoras de nitrógeno (*Cytisus scoparius*, *Dorycnium pentaphyllum*), especies nectaríferas para insectos polinizadores (*Lavandula stoechas*, *Thymus zygis*), pioneras con alta capacidad colonizadora (*Pioneer grasses*, *Medicago sativa*), y especies de porte arbustivo o subarbóreo con potencial de acumulación de biomasa y carbono (*Quercus coccifera*, *Crataegus monogyna*).

Los mosaicos se distribuyeron en bandas alternas siguiendo criterios microtopográficos, con técnicas de preparación del suelo como escarificado, biofertilización con compost maduro, y transferencia de suelo vivo procedente de ecosistemas naturales adyacentes. Se implementaron controles de seguimiento mediante parcelas permanentes, registrando variables como cobertura vegetal, biomasa aérea, diversidad de especies, infiltración, densidad de lombrices, contenido de materia orgánica y presencia de fauna indicadora (aves, coleópteros, himenópteros).

El monitoreo se prolongó durante dos ciclos vegetativos completos para garantizar la interpretación estacional de los datos y evaluar procesos de consolidación ecológica más allá de los primeros meses de implantación.

## Resultados

La aplicación del protocolo de enmienda mostró resultados altamente positivos en los tres enclaves, aunque con respuestas diferenciadas según el contexto edafoclimático. En términos generales, se observó un incremento sostenido en la cobertura vegetal funcional, alcanzando valores superiores al 65% en las zonas tratadas, frente a menos del 20% en los controles sin intervención. La riqueza florística aumentó en más del 60%, y se detectó una notable presencia de especies espontáneas facilitadas por la cobertura estructural y el efecto de nodriza de las especies implantadas. El suelo mostró una mejora significativa en parámetros clave como la infiltración, la retención hídrica y el contenido de materia orgánica, que aumentó hasta un 35% en dos años.

Uno de los hallazgos más relevantes fue la reactivación del soporte trófico: se documentó una colonización rápida por parte de insectos polinizadores (abejas silvestres, sírfidos), artrópodos detritívoros y aves insectívoras como *Parus major* y *Saxicola rubicola*. En términos de carbono, las parcelas tratadas mostraron un secuestro neto de 1,7 tCO<sub>2</sub>e/ha/año como media, con valores superiores en las zonas de mayor densidad arbustiva.

Estos resultados validan la hipótesis de que los mosaicos funcionales no solo son capaces de restaurar la vegetación, sino de catalizar procesos ecológicos integrados que devuelven funcionalidad y resiliencia al sistema restaurado.

## Discusión

Los datos obtenidos permiten reflexionar críticamente sobre la necesidad de redefinir los modelos de restauración en entornos altamente degradados, superando el paradigma meramente estético o ingenieril. Una restauración que no contempla el soporte trófico, la conectividad ecológica y la funcionalidad biogeoquímica está condenada a la irrelevancia ecológica. El protocolo propuesto demuestra que es posible diseñar sistemas vegetales que actúen como nodos de biodiversidad, aceleradores de la sucesión y captadores de carbono atmosférico, cumpliendo simultáneamente con los objetivos de adaptación al cambio climático y restauración del capital natural.

En particular, la clave del éxito radica en el diseño de mosaicos, ya que la heterogeneidad espacial permite diversificar nichos ecológicos, reducir la competencia interespecífica y aumentar la estabilidad frente a perturbaciones climáticas. La introducción de especies funcionales permite activar procesos clave del ecosistema, generando condiciones abióticas más favorables para otras especies, tanto vegetales como animales.

Asimismo, el proyecto aporta una reflexión política y estratégica: las restauraciones ecológicas deben ser consideradas inversiones en infraestructura verde, con retorno en forma de servicios ecosistémicos tangibles y medibles, como la mejora de la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono o el control natural de plagas. Esta visión puede facilitar la inclusión de las restauraciones funcionales en

mecanismos de financiación climática o compensación ambiental, integrando la ecología aplicada en la economía circular de los territorios.

### Conclusiones

El protocolo de enmienda ecológica mediante mosaicos funcionales representa una herramienta operativa, científicamente validada y ecológicamente eficaz para corregir restauraciones fallidas en entornos degradados. A través de un diseño adaptativo, basado en el conocimiento ecológico del sitio y en la funcionalidad específica de las especies vegetales, se ha demostrado que es posible reactivar procesos de sucesión, mejorar el suelo, atraer fauna silvestre y contribuir a los objetivos globales de mitigación climática.

Este proyecto establece un precedente metodológico para futuras restauraciones en el sector extractivo y ofrece un modelo replicable a escala regional y nacional. Su implementación puede ser clave en la recuperación ecológica de espacios industriales abandonados, en la compensación de impactos ambientales, y en la creación de redes funcionales de biodiversidad a lo largo del territorio.

## Estudio comparativo de los parámetros fisicoquímicos de aguas continentales superficiales en espacios naturales y antropizados del centro peninsular: una propuesta metodológica para la prevención de la alteración ecológica y la gestión proactiva de la calidad hídrica

### Resumen (Abstract)

El presente estudio se enmarca en la creciente necesidad de comprender, evaluar y anticipar los procesos de alteración fisicoquímica que afectan a los ecosistemas de agua dulce, particularmente en regiones mediterráneas sometidas a una presión antrópica intensiva. Se desarrolló un análisis comparativo del comportamiento fisicoquímico de masas de agua continentales superficiales en cuatro escenarios contrastados: dos espacios naturales con escasa intervención humana y dos sistemas hídricos enmarcados en contextos intensivos de transformación del suelo, asociados a actividades mineras y agrícolas. A través de una metodología de monitoreo periódico y análisis paramétrico de variables esenciales —como la concentración de oxígeno disuelto, la carga de nutrientes nitrogenados, la presencia de fósforo inorgánico, la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica— se generó una base empírica que permitió no solo caracterizar el estado trófico de cada sistema, sino también identificar umbrales críticos de deterioro ecológico. La información obtenida sirvió como base para formular estrategias de prevención y mitigación específicas, entre las cuales destacan las infraestructuras verdes de descontaminación, el control de fuentes difusas de nutrientes y la restauración de la vegetación riparia. Esta investigación constituye una contribución relevante a la planificación territorial adaptativa,

proponiendo medidas basadas en evidencia para proteger la integridad ecológica de los sistemas acuáticos frente a escenarios de cambio climático y expansión de la presión humana.

### Palabras clave (Keywords)

Calidad del agua, bioindicadores fisicoquímicos, sistemas acuáticos mediterráneos, eutrofización, restauración hídrica, uso del suelo, planificación adaptativa, gestión preventiva

### Introducción

El funcionamiento de los ecosistemas acuáticos está intrínsecamente ligado a la calidad fisicoquímica del agua, un parámetro multifactorial que condiciona tanto la estructura de las comunidades biológicas como los flujos de materia y energía que circulan entre el medio acuático y su entorno terrestre. En el caso particular de la región centro-peninsular, donde el régimen hidrológico se caracteriza por una fuerte estacionalidad, la gestión de los recursos hídricos representa un reto de primer orden, ya que el equilibrio ecológico es extremadamente sensible a pequeñas variaciones en la composición química y térmica del agua. A esta vulnerabilidad climática se suma la intensificación progresiva de los usos del

suelo, que genera una multiplicación de fuentes de alteración, tanto puntuales como difusas, capaces de modificar la dinámica natural de las masas de agua superficiales.

Los sistemas fluviales y lacustres de origen natural, cuando no están sometidos a perturbaciones externas, presentan una regulación ecológica basada en el equilibrio entre la producción primaria, la descomposición orgánica y la autorregulación de nutrientes. Sin embargo, al entrar en contacto con actividades humanas como la minería, la agricultura intensiva o la urbanización dispersa, estos equilibrios se ven comprometidos por el aporte masivo de sustancias eutrofizantes, el incremento de la turbidez y la pérdida de hábitats riparios. En este contexto, resulta imprescindible disponer de herramientas que permitan medir con precisión el estado trófico y químico de los cuerpos de agua, con el fin de detectar alteraciones incipientes, identificar sus causas, y establecer medidas de restauración y prevención eficaces.

El objetivo de este estudio es proporcionar una base técnica sólida para el diagnóstico diferencial de masas de agua superficiales, evaluando su comportamiento fisicoquímico en función del tipo de uso del suelo circundante. Se parte de la hipótesis de que existe una correlación directa entre la presión antrópica y la alteración de parámetros clave como el oxígeno disuelto, el amonio o los fosfatos, y que estos cambios pueden ser revertidos, al menos parcialmente, mediante soluciones basadas en la naturaleza y una planificación ecológica del territorio.

## Materiales y Métodos

El diseño experimental del estudio se basó en la selección estratégica de cuatro enclaves representativos del gradiente de presión antrópica existente en el centro peninsular. Dos de ellos —el humedal naturalizado de Almenara de Tormes y el complejo lagunar costero de Sagunto— fueron escogidos por su bajo nivel de alteración y su alto valor ecológico, actuando como referencia funcional de sistemas hídricos bien conservados. Los otros dos —la gravera activa de La Cistérniga y la balsa de residuos de Valdilecha— fueron seleccionados por representar contextos altamente intervenidos, con dinámicas ecológicas profundamente modificadas por la actividad extractiva, el vertido de sedimentos y la falta de gestión riparia.

En cada uno de estos escenarios se realizó una batería de mediciones a lo largo de tres campañas estacionales (primavera, verano y otoño), con el objetivo de capturar tanto las condiciones medias como las variaciones interanuales. Las variables medidas in situ incluyeron temperatura del agua, conductividad, pH, oxígeno disuelto y turbidez. Paralelamente, se tomaron muestras de agua para análisis de laboratorio de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos, utilizando métodos colorimétricos estandarizados con espectrofotometría UV-Vis. Toda la información fue georreferenciada y contextualizada con datos cartográficos relativos al uso del suelo, la pendiente, la cobertura vegetal circundante y la proximidad a focos de vertido o zonas de escorrentía activa.

Los datos fueron tratados estadísticamente mediante análisis de componentes principales (PCA) para identificar agrupaciones funcionales entre sitios y variables, así como para detectar correlaciones entre niveles de nutrientes y variables ambientales. Esta metodología permitió construir un perfil químico y ecológico diferenciado de cada masa de agua, facilitando el diseño de recomendaciones específicas de manejo.

### Resultados

Los resultados obtenidos reflejan una clara diferenciación entre los cuerpos de agua naturales y los ubicados en zonas transformadas. En los primeros, los niveles de oxígeno disuelto se mantuvieron de forma estable en rangos superiores al 7 mg/L, indicador de buena calidad, mientras que la concentración de nutrientes como nitratos, fosfatos y compuestos amoniacales fue consistentemente baja, con escasas variaciones estacionales. La temperatura y el pH mostraron una estabilidad notable, influida por la presencia de cobertura vegetal y la regulación natural del flujo hídrico. Estos sistemas presentaron también baja turbidez y alta transparencia, signos de un equilibrio trófico bien estructurado.

En contraste, las masas de agua ubicadas en entornos antropizados revelaron condiciones de eutrofización incipiente o avanzada. En Valdilecha, por ejemplo, se detectaron niveles de amonio superiores a 1,2 mg/L, así como fosfatos disueltos por encima de 0,5 mg/L, lo cual implica un riesgo elevado de crecimiento algal masivo y de colapso del oxígeno en horas nocturnas. El oxígeno disuelto mostró

importantes descensos durante los meses cálidos, cayendo por debajo de los 3 mg/L en varios puntos, especialmente en zonas profundas o mal oxigenadas. Además, se documentó una elevada temperatura en superficie (superior a los 25°C en verano), causada por la escasa vegetación marginal, que favorece la radiación directa y la estratificación térmica.

Los resultados del análisis multivariante confirmaron que los sistemas alterados se agrupan en un clúster funcional caracterizado por altas cargas de nutrientes, baja oxigenación y elevada conductividad eléctrica, todos ellos signos inequívocos de degradación ecológica vinculada al uso intensivo del suelo y a la falta de amortiguación biofísica.

### Discusión

El análisis comparativo realizado aporta evidencia sólida sobre el impacto diferencial que tiene la ocupación del suelo en la calidad fisicoquímica del agua. La integridad de los ecosistemas acuáticos no depende únicamente de la cantidad de agua disponible, sino también —y en muchos casos, sobre todo— de su calidad, definida por el equilibrio dinámico entre sus componentes químicos, físicos y biológicos. La disrupción de este equilibrio, especialmente por el aporte incontrolado de nutrientes, genera cascadas de efectos que alteran profundamente la comunidad biológica y sus interacciones ecológicas, promoviendo escenarios de dominancia de organismos oportunistas, pérdida de

especies sensibles y reducción de funciones ecosistémicas como la depuración, la filtración y la regulación térmica.

Este estudio refuerza la necesidad de integrar la variable fisicoquímica en las políticas de restauración fluvial y en la gestión preventiva de actividades que modifiquen la matriz hídrica del territorio. Las soluciones propuestas deben trascender los enfoques meramente correctivos o ingenieriles, apostando por mecanismos ecológicos de autorregulación como la restauración de bosques de ribera, la creación de zonas de infiltración con especies filtradoras y el rediseño agroecológico de las cuencas vertientes.

### Conclusiones

Los cuerpos de agua estudiados evidencian que la calidad fisicoquímica es un reflejo directo de la relación entre sociedad y territorio. Allí donde se ha permitido el funcionamiento autónomo del ecosistema, las aguas mantienen su equilibrio,

sustentan biodiversidad y actúan como amortiguadores frente a la variabilidad climática. Por el contrario, en aquellos contextos donde el paisaje ha sido desestructurado, las aguas sufren procesos de degradación acelerada, que comprometen no solo su valor ecológico, sino también sus usos productivos y sociales.

La gestión hídrica en el siglo XXI debe basarse en la anticipación, el monitoreo continuo y la restauración integral de cuencas. Los datos fisicoquímicos constituyen un instrumento técnico poderoso para sustentar decisiones políticas informadas, capaces de proteger un recurso cada vez más escaso y valioso. Este proyecto aporta una metodología replicable y un conjunto de evidencias que justifican la adopción urgente de medidas restauradoras que devuelvan a nuestras aguas continentales su dignidad ecológica y su papel central en la resiliencia de los territorios.

## Adaptación y consecuencias del sector primario frente al cambio climático: análisis agroecológico comparado entre los modelos de minifundismo gallego y latifundismo castellano

### Resumen (Abstract)

La presente investigación aborda la vulnerabilidad y capacidad adaptativa del sector primario frente al cambio climático desde una perspectiva comparativa entre dos modelos agrarios profundamente distintos en su estructura territorial, lógica de producción y relación con el medio: el minifundismo atlántico, representado por la Galicia rural, y el latifundismo cerealista de Castilla y León. A partir de un análisis multifactorial que integra indicadores agroecológicos, consumo energético, uso del suelo, dependencia de insumos externos, emisiones de gases de efecto invernadero, diversidad productiva y resiliencia ecosistémica, se construye una caracterización precisa de ambos modelos, evaluando sus fortalezas, debilidades y potenciales de transformación. Los resultados evidencian que, pese a su menor eficiencia productiva en términos brutos, el sistema minifundista ofrece una mayor capacidad de adaptación climática, una menor huella ecológica y un mejor aprovechamiento de los recursos locales, siendo por tanto una referencia útil para el diseño de modelos agrarios sostenibles en escenarios de transición ecológica.

### Palabras clave (Keywords)

Resiliencia agraria, sistemas agroecológicos, transición alimentaria, cambio climático, agricultura familiar, eficiencia ecosistémica, modelos territoriales, adaptación rural

### Introducción

El cambio climático ha emergido como un desafío transversal que afecta de forma desigual a los sistemas agrarios en función de su estructura, dependencia externa y lógica productiva. Mientras que algunos modelos pueden incorporar innovaciones tecnológicas o adaptar sus calendarios productivos, otros, más rígidos o vulnerables por su intensidad, muestran graves dificultades para resistir perturbaciones climáticas como sequías prolongadas, olas de calor, cambios en la fenología de cultivos o reducción de recursos hídricos. Esta investigación parte de la necesidad urgente de revisar críticamente el paradigma agrario dominante, basado en la intensificación, la especialización productiva y la artificialización del paisaje rural, confrontándolo con alternativas tradicionales que, desde su diversidad, proximidad y bajo impacto ecológico, ofrecen claves relevantes para una transición agroecológica justa y resiliente.

Para ello, se ha estructurado una comparación entre dos regiones que simbolizan modelos agrarios antagónicos: el mosaico agrario del noroeste gallego, caracterizado por pequeñas parcelas, policultivo, manejo familiar y fuerte anclaje territorial; y las grandes extensiones de monocultivo cerealista de la meseta castellana, dominadas por explotaciones mecanizadas, baja diversidad y alta dependencia de agroquímicos. El objetivo es determinar cuál de estos sistemas posee mayor capacidad de adaptación frente al cambio climático, entendiendo la resiliencia no como una simple resistencia al cambio, sino como la capacidad de reorganizarse, aprender y evolucionar ante nuevos desafíos sin perder funcionalidad ni equidad.

### **Materiales y Métodos**

El enfoque metodológico de esta investigación combina el análisis de datos empíricos con una interpretación agroecológica de los paisajes productivos. Se estableció un conjunto de indicadores clave agrupados en cuatro dimensiones: ecológica (diversidad de cultivos, uso de recursos naturales, eficiencia hídrica), económica (renta agraria, dependencia de insumos, estabilidad de precios), climática (emisiones de gases de efecto invernadero, sensibilidad a eventos extremos, uso energético) y social (empleo rural, cohesión territorial, transmisión intergeneracional). Estos indicadores fueron cuantificados a partir de bases de datos oficiales (Ministerio de Agricultura, SIGPAC, EEA, Eurostat), encuestas a

productores locales y observación directa en campo durante tres campañas agrícolas.

Se seleccionaron, como zonas de estudio, tres municipios representativos del modelo gallego (Mondoñedo, Lalín, y Pontedeume) y tres del modelo castellano (Medina del Campo, Alaejos y Toro), considerando tanto sus condiciones edafoclimáticas como la estructura parcelaria, el tipo de cultivo dominante y el historial de gestión agraria. El análisis cualitativo se apoyó en entrevistas semiestructuradas a técnicos agrarios, asociaciones de productores y administraciones locales. Los resultados fueron sintetizados en perfiles funcionales que permiten visualizar de forma integrada las ventajas y limitaciones de cada modelo frente a escenarios climáticos previsibles para el periodo 2025-2050.

### **Resultados**

Los datos obtenidos revelan contrastes notables entre ambos sistemas. El modelo latifundista castellano destaca por su elevada productividad por hectárea en cultivos extensivos, especialmente cereales, pero esta eficiencia aparente está sostenida por una altísima dependencia de insumos externos: fertilizantes nitrogenados, fitosanitarios, combustible fósil y maquinaria agrícola pesada. Esta dependencia se traduce en una huella ecológica considerable, con emisiones medias de entre 4,8 y 6,1 tCO<sub>2</sub>e/ha/año, así como en una fragilidad climática evidente, derivada de su escasa diversificación y su exposición directa a la

variabilidad meteorológica. La pérdida de materia orgánica en el suelo y la baja capacidad de infiltración hídrica agravan, además, su vulnerabilidad a las sequías y las lluvias torrenciales.

Por el contrario, el modelo minifundista gallego, a pesar de su baja mecanización y menor volumen de producción total, muestra una estructura agraria diversificada, con una integración efectiva de sistemas agrosilvopastoriles, rotación de cultivos, fertilización orgánica y aprovechamiento de recursos hídricos locales. Las emisiones registradas fueron significativamente más bajas (1,1 – 1,9 tCO<sub>2</sub>e/ha/año), y la capacidad de absorción de carbono del suelo fue superior en suelos manejados con técnicas tradicionales y cubiertas vegetales permanentes. La resiliencia funcional de este sistema quedó evidenciada en su capacidad para mantener rendimientos estables en años climáticamente adversos y para sostener un tejido socioeconómico rural basado en redes familiares, mercados locales y multifuncionalidad del territorio.

### Discusión

El análisis comparativo pone de manifiesto que la sostenibilidad climática del sector primario no puede reducirse a una cuestión de rendimiento técnico por hectárea, sino que debe considerar la complejidad ecológica y social de los sistemas agrarios. El modelo latifundista ha logrado altas productividades gracias a un paquete tecnológico intensivo, pero lo ha hecho a costa de agotar su base ecológica, perder diversidad y aumentar su exposición al colapso climático. Su

diseño lineal, dependiente y homogéneo contrasta con la lógica circular, integrada y resiliente del minifundio gallego, que aunque históricamente marginado, ofrece hoy claves valiosas para la adaptación rural al cambio global.

La agroecología emerge como un enfoque integrador capaz de combinar lo mejor de ambos mundos: el conocimiento tradicional y la innovación tecnológica, la eficiencia productiva y la regeneración ecológica. En este sentido, no se trata de idealizar el minifundio, sino de aprender de sus principios para reconfigurar sistemas agrarios resilientes, territoriales y sostenibles. La transición agroecológica debe entenderse como un proceso social, político y ecológico que exige rediseñar no solo los modos de producir, sino también las relaciones entre el campo y la ciudad, la función del paisaje rural y los valores que orientan las políticas alimentarias.

### Conclusiones

El cambio climático constituye un desafío sin precedentes para la agricultura europea, y su abordaje requiere de modelos agrarios adaptativos, regenerativos y socialmente inclusivos. Esta investigación demuestra que los sistemas agrarios diversificados, de pequeña escala y enraizados en el conocimiento local —como el minifundismo gallego— presentan una mayor capacidad para enfrentar escenarios de incertidumbre climática, al tiempo que mantienen funciones ecológicas esenciales y favorecen la justicia territorial. Frente a ellos, los modelos agroindustriales, aunque eficientes en condiciones estables, presentan una

fragilidad estructural y una huella ecológica incompatible con los objetivos de neutralidad climática.

Las políticas públicas deben reconocer esta realidad y fomentar activamente los sistemas de producción familiar y agroecológica, dotándolos de apoyo técnico, infraestructuras logísticas, investigación participativa y canales de comercialización justos. El futuro del sector primario dependerá de nuestra capacidad colectiva para redirigir el rumbo hacia modelos de producción resilientes, que no solo alimenten al mundo, sino que regeneren la tierra y dignifiquen la vida en el medio rural.

Estas investigaciones están financiadas por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico a través de la Orden de 20 de mayo de 2022, por la que se convoca para el año 2022 la concesión de subvenciones a entidades del Tercer Sector u Organizaciones No Gubernamentales que desarrollen actividades de interés general consideradas de interés social en materia de investigación científica y técnica de carácter medioambiental.