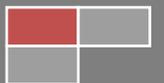


2021

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 investigaciones 2021



Modelización de la recuperación espacios degradados para el conocimiento y defensa del medio natural de especies esteparias amenazadas del gradiente Este-Oeste en la Península Ibérica.

Resumen (Abstract)

Este estudio se orienta a evaluar de forma rigurosa la presencia, diversidad funcional y rol ecológico de las comunidades de aves insectívoras en entornos periurbanos, agrícolas y restaurados del centro peninsular. Partiendo de la premisa de que las aves insectívoras no sólo son indicadores de calidad ambiental, sino agentes activos en la regulación ecológica de sistemas agrarios y seminaturales, se plantea un análisis comparado entre zonas intensamente cultivadas y áreas sometidas a procesos de restauración ecológica.

A través de un diseño metodológico basado en censos estacionales, análisis multivariado y caracterización estructural del hábitat, se identificaron relaciones significativas entre la complejidad estructural del paisaje y la riqueza funcional de las aves insectívoras. Los resultados evidencian que la biodiversidad aviar responde de manera positiva a la presencia de elementos como setos, manchas de vegetación espontánea, bordes de caminos arbolados y cuerpos de agua. Además, la instalación de cajas nido se reveló como una herramienta efectiva para incrementar la ocupación trófica de especies beneficiosas en entornos agrícolas degradados.

Este proyecto confirma el papel de la avifauna insectívora como aliada en la gestión agroecológica del territorio, promoviendo servicios ecosistémicos esenciales como el control biológico de plagas, la dispersión secundaria de semillas y la modulación de ciclos tróficos. En este sentido, se propone incorporar su conservación activa como criterio prioritario en políticas de restauración ecológica, planificación territorial y transición agroambiental.

Palabras clave (Keywords)

Aves insectívoras, servicios ecosistémicos, control biológico de plagas, restauración funcional, agroecología, bioindicadores, heterogeneidad paisajística, cajas nido, resiliencia ecológica, ecología aplicada.

Introducción

En las últimas décadas, los sistemas agrarios europeos han experimentado un proceso creciente de intensificación productiva, homogeneización paisajística y pérdida de infraestructura ecológica, que ha derivado en una disminución drástica de la biodiversidad funcional. Este declive no sólo representa una pérdida de valor natural, sino que compromete la resiliencia de los agrosistemas

frente a perturbaciones como las plagas, las enfermedades emergentes o el cambio climático.

Las aves insectívoras, debido a su elevada movilidad, especificidad trófica y sensibilidad ecológica, constituyen una pieza clave en este contexto. Se trata de organismos altamente eficientes en la captura de insectos herbívoros, capaces de reducir densidades de poblaciones fitófagas, y con un papel comprobado en la regulación natural de comunidades invertebradas en entornos agrícolas. Asimismo, su presencia y abundancia se correlacionan positivamente con la complejidad estructural del paisaje, convirtiéndolas en bioindicadores útiles para evaluar la eficacia de programas de restauración ecológica y revegetación funcional.

Pese a ello, su valor como aliados agroecológicos ha sido históricamente subestimado. Las medidas de fomento de fauna útil se han centrado preferentemente en insectos polinizadores, mientras que la avifauna se ha considerado desde un prisma exclusivamente conservacionista. El presente proyecto propone cambiar ese enfoque, situando a las aves insectívoras en el centro del diseño de estrategias de restauración funcional, transición agroecológica y mejora de servicios ecosistémicos en zonas rurales y periurbanas degradadas.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en cinco enclaves del centro de la península ibérica (provincias de Salamanca y Valladolid), seleccionados en función de su representatividad territorial y grado de transformación antrópica. Se incluyeron dos explotaciones agrícolas intensivas, dos espacios en restauración ecológica activa (una gravera rehabilitada y una cantera restaurada con técnicas de bioingeniería) y una finca periurbana renaturalizada en las proximidades de un núcleo urbano de tamaño medio.

El diseño metodológico se estructuró en tres niveles:

1. **Monitoreo de avifauna:**
Se realizaron censos estacionales en primavera, verano y otoño, aplicando metodologías estándar de transectos lineales y puntos de escucha con radio de 100 m. Los registros fueron geoetiquetados y analizados según categorías tróficas, estrato de ocupación y nivel de especialización insectívora. También se documentó el comportamiento de forrajeo y la presencia de juveniles como indicador indirecto de reproducción.
2. **Caracterización del hábitat:**
Para cada enclave se midieron variables estructurales y funcionales del paisaje: cobertura arbórea y arbustiva, índice de diversidad de vegetación (Shannon-Wiener), presencia de elementos lineales (setos, acequias, muros), cobertura de suelo desnudo y grado de conectividad

con manchas de hábitat seminatural. Se aplicó un índice de complejidad estructural diseñado ad hoc para este estudio.

3. Infraestructura ecológica activa:

Se instalaron 50 cajas nido específicas para paseriformes insectívoros (modelo tipo A de madera natural, con entrada de 32 mm) distribuidas en entornos restaurados y agrícolas. Se evaluaron las tasas de ocupación, éxito reproductor y fidelidad territorial de las especies usuarias, en especial *Parus major*, *Parus caeruleus* y *Hirundo rustica*.

Los datos se analizaron mediante modelos lineales generalizados, análisis de varianza (ANOVA), y regresiones logísticas para establecer relaciones causales entre diversidad aviar e infraestructura ecológica.

Resultados

El análisis multiescalar reveló diferencias sustanciales entre los sistemas agrícolas convencionales y los espacios restaurados o renaturalizados. En las zonas agrícolas intensivas, la riqueza específica de aves insectívoras fue baja (media de 4,3 especies por transecto) y dominada por especies generalistas como el gorrión común (*Passer domesticus*). Por el contrario, en los espacios restaurados, la riqueza ascendió hasta 9,7 especies por transecto, incluyendo especialistas tróficos y forestales como el carbonero común (*Parus major*), el reyezuelo listado (*Regulus ignicapilla*), o el papamoscas gris (*Muscicapa striata*).

Se registraron ocupaciones de cajas nido superiores al 65% en las restauraciones activas, con tasas de éxito reproductivo del 72%, lo que evidencia una aceptación positiva por parte de la avifauna local. Además, se detectaron correlaciones altamente significativas entre la presencia de vegetación estratificada y la abundancia de aves insectívoras, particularmente en zonas con cobertura arbustiva superior al 30% y diversidad vegetal media-alta.

Uno de los hallazgos más notables fue la mayor estabilidad interanual en las comunidades de aves en entornos restaurados, lo que sugiere una mayor resiliencia ecológica frente a perturbaciones estacionales o eventos climáticos extremos.

Discusión

Los resultados del estudio confirman que las aves insectívoras constituyen una herramienta funcional de gran valor para evaluar la eficacia de los procesos de restauración ecológica. Su sensibilidad a la estructura del hábitat, su dependencia de recursos tróficos específicos y su capacidad de colonización las convierten en organismos centinela idóneos para detectar avances o retrocesos en la calidad ecológica de sistemas agroambientales.

Además, este trabajo aporta evidencias empíricas sólidas de que las medidas de gestión activa, como la instalación de cajas nido y el diseño de vegetación

en mosaico, no solo favorecen la biodiversidad, sino que pueden traducirse en beneficios agronómicos tangibles a través del control biológico de plagas.

El estudio también sugiere que la infraestructura ecológica en paisajes agrícolas debe diseñarse no solo como corredores verdes o setos lineales, sino como redes funcionales de hábitat con capacidad de soporte trófico y reproductivo. En este marco, la conservación de las aves insectívoras deja de ser una cuestión de sensibilidad ambiental para convertirse en una estrategia de sostenibilidad agraria basada en la resiliencia ecológica.

Conclusiones

La avifauna insectívora emerge en este proyecto como un vector esencial para la restauración funcional de paisajes alterados. Su presencia, diversidad y funcionalidad ofrecen beneficios múltiples: desde la regulación trófica hasta la indicación de calidad ecológica, pasando por su potencial como herramienta educativa y sensibilizadora en procesos de renaturalización comunitaria.

Este estudio demuestra que, con medidas sencillas, como la instalación de cajas nido y la reintroducción de vegetación estructurada, es posible transformar entornos marginales en hábitats funcionales, ricos en biodiversidad y capaces de ofrecer servicios ecosistémicos estratégicos.

La inclusión de la avifauna insectívora en las políticas de restauración, planificación agraria y conservación ecológica debe ser un objetivo prioritario,

tanto por sus beneficios directos como por su papel estructurante en la red ecológica del territorio.

Evolución de las poblaciones de avifauna en entornos mineros restaurados del centro peninsular para el conocimiento y a la defensa de la biodiversidad

Resumen (Abstract)

El presente estudio aborda la evolución ecológica de las poblaciones de avifauna en entornos mineros restaurados en la Meseta Central, centrándose en su valor como indicadores de la recuperación funcional de ecosistemas altamente antropizados. El trabajo evalúa el comportamiento espacio-temporal de las aves en graveras y canteras restauradas mediante diferentes técnicas — desde revegetaciones tradicionales hasta modelos geomorfológicos avanzados tipo Geofluv—, y analiza su capacidad de recolonización, diversidad específica y riqueza funcional.

Se aplicaron metodologías bioestadísticas coherentes para la cuantificación de la biodiversidad, permitiendo valorar la efectividad de los modelos de restauración en términos de refaunación y complejidad trófica. Los resultados evidencian que los diseños restaurativos basados en criterios de heterogeneidad estructural y conectividad ecológica presentan mayores tasas de recuperación avifaunística. Este proyecto aporta evidencias empíricas valiosas para la planificación y validación de estrategias de restauración ecológica a gran escala en paisajes mineros degradados.

Palabras clave (Keywords)

Restauración minera, avifauna bioindicadora, recolonización ecológica, refaunación, Geofluv, complejidad estructural, monitoreo faunístico, biodiversidad post-minería, bioestadística ambiental, heterogeneidad paisajística

Introducción

Las explotaciones mineras, una vez cesada su actividad extractiva, ofrecen un espacio privilegiado para la experimentación ecológica y la implementación de modelos de restauración innovadores. Estas superficies, altamente alteradas en su topografía, composición edáfica y continuidad ecológica, se convierten en territorios propicios para estudiar procesos de sucesión ecológica y recuperación funcional. En este contexto, la fauna —y en particular la avifauna— emerge como un indicador sensible y eficaz del éxito o fracaso de los programas de restauración, dado que su presencia y comportamiento están directamente influenciados por la estructura del hábitat, la disponibilidad trófica y la conectividad con matrices naturales.

En las últimas décadas, el enfoque restaurativo ha transitado desde propuestas meramente ingenieriles —basadas en revegetaciones uniformes y estabilización geomorfológica— hacia modelos más complejos, basados en la replicación de formas hidrogeomorfológicas naturales, como el modelo Geofluv. Esta

transición plantea preguntas relevantes acerca de la capacidad de estos nuevos modelos para facilitar la reafanación espontánea y establecer comunidades ecológicamente funcionales.

El presente proyecto parte de la hipótesis de que las aves, por su facilidad de detección, movilidad y especificidad trófica, son bioindicadores insustituibles de los procesos de restauración ecológica en paisajes mineros. Además, el análisis temporal de su evolución permite contrastar la eficacia relativa de distintas estrategias restaurativas, desde las aplicadas hace tres décadas hasta las más recientes.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron diversas explotaciones mineras (graveras y canteras) situadas en el centro peninsular, representativas de distintas fases de restauración. Se incluyeron tanto espacios intervenidos bajo metodologías tradicionales de revegetación lineal, como enclaves restaurados según el modelo Geofluj, caracterizado por una alta heterogeneidad morfológica, redes de drenaje simuladas y técnicas de restitución edáfica avanzada.

En cada uno de estos enclaves se realizaron censos de avifauna mediante transectos y estaciones de escucha repetidas estacionalmente. Las especies se clasificaron según su afinidad con hábitats de sucesión temprana o madura, su dieta, su comportamiento territorial y su fenología reproductiva. Paralelamente, se evaluaron variables ecológicas clave como cobertura vegetal, número de

estratos, presencia de agua, conectividad con otras masas naturales, y densidad de refugios naturales o artificiales.

Se aplicaron herramientas bioestadísticas para analizar la diversidad alfa, beta y gamma, así como para establecer correlaciones entre el tipo de restauración y la riqueza avifaunística resultante. Se emplearon modelos lineales mixtos y análisis de componentes principales para integrar las variables estructurales del hábitat y su relación con la respuesta faunística.

Resultados

El análisis reveló diferencias marcadas entre las restauraciones tradicionales y las desarrolladas bajo criterios geomorfológicos y ecológicos avanzados. Las zonas intervenidas mediante técnicas convencionales, con plantaciones monoespecíficas o escasa estructura vertical, presentaban comunidades avifaunísticas empobrecidas, dominadas por especies pioneras y generalistas de campo abierto, como *Emberiza calandra* o *Motacilla alba*. En contraste, los espacios restaurados con diseño funcional complejo presentaban una diversidad específica significativamente mayor (hasta un 70% más), incluyendo especies forestales, acuáticas y tróficamente especializadas, como *Cettia cetti*, *Parus major* y *Alcedo atthis*.

Además, se constató una mayor estabilidad interanual en los enclaves restaurados con mayor heterogeneidad topográfica, donde las redes de drenaje

simuladas y las áreas de aguas temporales favorecieron el asentamiento de especies migratorias y residentes.

Los modelos de restauración funcional mostraron mayor capacidad de retención faunística en el tiempo, lo cual es un indicador indirecto de resiliencia ecológica. También se observó un efecto facilitador en la sucesión de comunidades vegetales espontáneas, generando retroalimentaciones positivas entre vegetación y fauna.

Discusión

Los resultados respaldan la idea de que los diseños restaurativos complejos, que imitan la estructura y dinámica de los ecosistemas naturales, son significativamente más eficaces en promover la refaunación y estabilización de comunidades ecológicas. Las aves, en tanto organismos móviles y especializados, responden con precisión a variaciones microhábitat, y su distribución espacial puede leerse como un mapa funcional de la calidad ecológica del entorno restaurado.

Este estudio refuerza la necesidad de integrar la fauna en todas las fases del diseño, ejecución y evaluación de proyectos de restauración ecológica. La restauración no puede concebirse únicamente como un proceso vegetal o edáfico, sino como la reconstrucción integral de redes ecológicas capaces de sostener flujos tróficos, interacciones mutualistas y procesos autoreglativos.

Las aves insectívoras, granívoras, acuáticas y nidificantes representan diferentes dimensiones funcionales que deben considerarse simultáneamente. Asimismo, se plantea la necesidad de institucionalizar protocolos de monitoreo faunístico de largo plazo, que permitan validar científicamente los resultados de las intervenciones y retroalimentar los modelos futuros.

Conclusiones

El presente proyecto ha permitido demostrar, con base empírica y analítica, que las aves constituyen herramientas de primer orden en la evaluación funcional de espacios mineros restaurados. Su presencia, abundancia y diversidad funcional son reflejos directos de la calidad del diseño restaurativo y de la capacidad del ecosistema para recuperar sus funciones ecológicas.

Las estrategias de restauración que integran diseño geomorfológico, heterogeneidad vegetal y conectividad ecológica muestran una eficacia superior en la recuperación de biodiversidad, la estructuración de nichos y la reactivación de procesos ecológicos.

Este estudio refuerza el papel de la restauración ecológica no como una obligación legal residual, sino como una oportunidad estratégica para regenerar territorios, promover biodiversidad funcional y consolidar paisajes resilientes en un contexto de cambio global.

Desgravando el problema: Estudio en materia educativa de las extracciones de áridos y su restauración ecológica para la utilización sostenible de los recursos naturales.

Resumen (Abstract)

El presente proyecto se sitúa en la intersección entre la restauración ecológica y la educación ambiental, abordando un enfoque innovador para promover la comprensión crítica de los procesos extractivos y su recuperación ecológica entre los jóvenes estudiantes. A través de un análisis pedagógico aplicado, se estudia el potencial educativo de entornos restaurados tras la extracción de áridos en la Península Ibérica, especialmente en el bosque de ribera de Almenara de Tormes (Salamanca) y el monte mediterráneo de La Araña (Málaga), ambos afectados por procesos de explotación minera.

El estudio propone una metodología didáctica estructurada que utiliza como eje la restauración ecológica de paisajes degradados, con el fin de construir un modelo de enseñanza transversal en educación secundaria, alineado con las competencias básicas del currículo actual. El proyecto no solo analiza los impactos ambientales y las estrategias de restauración, sino que los vincula con una propuesta formativa basada en el método científico, fomentando una conciencia crítica y sostenible en las nuevas generaciones. Se aboga por una educación transformadora que relacione directamente los servicios ecosistémicos con la sostenibilidad y la acción climática, cumpliendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (especialmente el ODS 15).

Palabras clave (Keywords)

Extracción de áridos, restauración ecológica, educación ambiental, sostenibilidad, servicios ecosistémicos, pedagogía activa, ODS 15, ciencia escolar, metodologías innovadoras, paisaje restaurado

Introducción

La extracción de áridos ha sido históricamente una actividad esencial para el desarrollo de infraestructuras, aportando materiales claves para la construcción de ciudades, vías de comunicación y obras hidráulicas. Sin embargo, esta actividad conlleva profundas alteraciones ecológicas, incluyendo la pérdida de hábitats, fragmentación del territorio, degradación del suelo y perturbación de ecosistemas complejos. Frente a esta realidad, las estrategias contemporáneas de restauración ecológica no sólo buscan mitigar los impactos, sino devolver funcionalidad, resiliencia y valor ecosistémico a los paisajes intervenidos.

En este contexto, se abre una oportunidad educativa única: transformar los espacios restaurados en escenarios de aprendizaje activo. Si las generaciones futuras han de gestionar con responsabilidad los recursos naturales, necesitan comprender tanto la historia de las perturbaciones como los procesos de recuperación. Este proyecto parte de dicha premisa, articulando un marco

metodológico que permita integrar la restauración ecológica de explotaciones mineras en el currículo de ciencias de secundaria, no como contenido abstracto, sino como experiencia vivencial, aplicada y crítica.

La propuesta se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 (“Vida de ecosistemas terrestres”) y con la declaración de la Década de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas (2021–2030), posicionando la educación ambiental como un motor para la transformación socioecológica. Además, responde a una llamada científica global que exige reconectar la sociedad con los ciclos ecológicos y restaurar su vínculo funcional con la naturaleza.

Materiales y Métodos

El proyecto seleccionó dos enclaves diferenciados en la geografía peninsular, representativos de realidades ecológicas y sociales diversas: el bosque de ribera del entorno de Almenara de Tormes, donde se lleva a cabo una restauración ambiental post-extractiva en un espacio de alta sensibilidad hídrica; y el monte mediterráneo de La Araña (Málaga), donde la actividad minera aún está activa en algunos sectores, aunque se han desarrollado iniciativas de recuperación parcial.

En ambos casos, se aplicó un enfoque metodológico dual:

1. **Diagnóstico ecológico y restaurativo:** se analizaron los impactos producidos por la actividad extractiva, las técnicas aplicadas en la

restauración (revegetación, manejo hidrológico, restauración geomorfológica) y los servicios ecosistémicos restaurados. Se realizaron visitas técnicas, entrevistas a personal de campo y revisión documental de los planes de restauración.

2. **Diseño pedagógico-aplicado:** se elaboró un modelo curricular basado en la transversalidad de contenidos ecológicos y metodológicos. El diseño incluyó:

- Una unidad didáctica interdisciplinar orientada a 3º y 4º de ESO.
- Actividades prácticas en campo vinculadas al método científico (observación, formulación de hipótesis, toma de datos, análisis, discusión).
- Guías de interpretación ecológica adaptadas a nivel de secundaria.
- Material audiovisual y gráfico sobre el antes, durante y después de la restauración.

Las competencias clave abordadas fueron: competencia científica, sentido de la iniciativa y conciencia ecológica, competencias digitales, y trabajo cooperativo. El programa fue validado con profesorado de centros de secundaria y técnicos ambientales.

Resultados

El desarrollo del programa pedagógico reveló un alto grado de receptividad por parte del alumnado y docentes implicados. La incorporación de conceptos como “función ecosistémica”, “resiliencia ecológica” y “renaturalización” fue asimilada con claridad cuando se integraban a través de actividades experienciales en campo. En particular, las sesiones de seguimiento de la biodiversidad y análisis de suelos restaurados generaron un interés notable, superando las dinámicas convencionales de enseñanza en aula.

Desde el punto de vista ecológico, los enclaves restaurados mostraron mejoras tangibles en la funcionalidad del ecosistema: en Almenara se detectó un incremento de la avifauna riparia, recuperación de estructura vegetal estratificada, y mejora de indicadores físico-químicos del suelo. En La Araña, la recuperación progresiva de especies mediterráneas resilientes fue evidente, pese a la presión urbana circundante.

Las herramientas pedagógicas desarrolladas resultaron eficaces para conectar el proceso de restauración con los principios del método científico. El programa contribuyó, además, a mejorar la percepción social del valor de los ecosistemas restaurados, identificándolos no sólo como espacios recuperados, sino como escenarios de aprendizaje vital, ecológico y transformador.

Discusión

Este proyecto demuestra que la restauración ecológica no debe ser entendida únicamente como un proceso técnico de ingeniería ecológica, sino como un fenómeno profundamente educativo, capaz de generar conciencia ecológica, pensamiento crítico y compromiso ciudadano. Incorporar la narrativa de restauración al sistema educativo constituye un paso necesario para formar generaciones ambientalmente competentes, capaces de interpretar el mundo natural desde la complejidad ecológica y la responsabilidad intergeneracional.

Además, los resultados reafirman que los espacios naturales restaurados tienen un valor educativo subutilizado. Convertir estos enclaves en “aulas vivas” implica asumir que el conocimiento ambiental no puede reducirse a lo abstracto. La restauración de una cantera, cuando es comprendida desde sus fases ecológicas, genera un relato potente sobre la degradación y la recuperación, que puede articular aprendizajes científicos, éticos y sociales.

Este trabajo plantea también la necesidad de transversalizar la sostenibilidad en los sistemas educativos mediante recursos tangibles, locales y contextualizados, conectando el currículo formal con los desafíos ecosistémicos reales del territorio. En última instancia, se trata de formar ciudadanía restauradora.

Conclusiones

El proyecto “Desgravar el problema” ha demostrado el potencial transformador de vincular restauración ecológica y educación ambiental en un marco pedagógico integrado. Los espacios restaurados tras extracción de áridos pueden y deben convertirse en plataformas educativas que promuevan conocimiento científico, responsabilidad socioecológica y acción restauradora desde edades tempranas.

Los materiales y propuestas desarrolladas son replicables y adaptables a distintos contextos escolares y territoriales, y contribuyen a los objetivos internacionales de sostenibilidad. Este enfoque constituye una vía eficaz para que el proceso restaurativo no sólo recupere funciones ecológicas, sino que restituya también el vínculo humano con el paisaje, la memoria del territorio y la conciencia colectiva de los límites planetarios.

Diseño de barreras vegetales en ambientes húmedos del centro peninsular para la prevención de la contaminación por deriva de fitosanitarios en zonas de alto valor ecológico.

Resumen (Abstract)

La creciente intensificación del uso de productos fitosanitarios en sistemas agrícolas ha derivado en una alarmante problemática ambiental, particularmente asociada a su dispersión involuntaria o deriva. Este fenómeno, que implica la movilización de compuestos químicos fuera de las áreas tratadas, amenaza de forma directa a espacios de alto valor ecológico ubicados en entornos agrícolas o mineros restaurados. El presente proyecto se centra en el diseño e implementación de barreras vegetales como solución ecofuncional para mitigar la deriva de productos fitosanitarios, con énfasis en ambientes húmedos del centro peninsular español. La metodología adoptada incluyó la selección de explotaciones de áridos representativas —la gravera El Porcal en Madrid y la gravera restaurada de Almenara de Tormes en Salamanca—, un exhaustivo análisis florístico y estructural de las bandas vegetales existentes, y la modelización del potencial de reducción de deriva en función del diseño y composición de dichas barreras. Los resultados muestran que las pantallas vegetales multiestrato, con especies nativas adaptadas a condiciones higrófilas, no solo cumplen un papel eficaz como filtros ecológicos, sino que aportan beneficios ecosistémicos adicionales, incluyendo la mejora de la conectividad

ecológica y la promoción de la biodiversidad local. Se concluye que la restauración de lindes agrícolas con estructuras vegetales planificadas representa una herramienta clave para la reconciliación entre la producción agraria y la conservación de ecosistemas.

Palabras clave (Keywords)

Deriva de fitosanitarios, restauración ecológica, barreras vegetales, hábitats húmedos, agroecosistemas, estructuras lineales, fitoprotección ecológica, servicios ecosistémicos, vegetación de ribera, biodiversidad funcional.

Introducción

Los paisajes agrarios contemporáneos, particularmente en el centro peninsular ibérico, han experimentado una simplificación estructural progresiva debido a prácticas agrícolas intensivas y a la eliminación de elementos seminatales como setos, sotos y linderos. Esta pérdida de heterogeneidad estructural no solo afecta la biodiversidad asociada a los agroecosistemas, sino que amplifica los riesgos de dispersión de insumos agroquímicos, especialmente de fitosanitarios. La deriva, entendida como el desplazamiento aéreo o superficial de plaguicidas fuera de su área de aplicación, representa uno de los principales

vectores de contaminación difusa en paisajes agrícolas. Este proceso es especialmente problemático cuando afecta a espacios restaurados o en proceso de recuperación ecológica, como es el caso de las explotaciones mineras rehabilitadas bajo criterios de funcionalidad ecológica.

En este contexto, el presente proyecto se orienta al diseño de soluciones basadas en la naturaleza para mitigar la deriva, utilizando estructuras vegetales lineales estratégicamente implantadas en zonas de interfaz entre áreas agrícolas y espacios de conservación o restauración. Se parte de la hipótesis de que las barreras vegetales, si están adecuadamente diseñadas en términos de composición florística, densidad, estratificación y orientación, pueden constituirse en elementos biofísicos eficaces para interceptar partículas y aerosoles, mientras ofrecen hábitat, conectividad y funciones de regulación ecosistémica. Esta investigación se inscribe así en el marco de la restauración ecológica aplicada a paisajes agrarios fragmentados, con un enfoque integrador entre producción agrícola y protección ambiental.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en dos entornos contrastantes, seleccionados por su representatividad geográfica, ecológica y tipológica: la gravera El Porcal, ubicada en Rivas Vaciamadrid (Comunidad de Madrid), y el Centro de Iniciativas Ambientales El Tormes, en Almenara de Tormes (Salamanca). Ambas zonas presentan masas de agua asociadas a antiguos procesos

extractivos, rodeadas de parcelas agrícolas activas en las que se emplean fitosanitarios con diferentes técnicas de aplicación mecánica.

La metodología combinó el trabajo de campo con el análisis cartográfico y la modelización del comportamiento de la deriva. Se realizó un inventario detallado de la vegetación existente en los linderos perimetrales, describiendo especies presentes, altura, densidad, continuidad, orientación y permeabilidad. Las unidades vegetales fueron clasificadas en función de su estructura (mono- o multiestrato), composición (árboles, arbustos, herbáceas) y origen (autóctono vs. alóctono). Además, se llevó a cabo un diseño de mejora de las bandas vegetales con base en criterios funcionales, seleccionando especies adaptadas a suelos húmedos, con elevada biomasa aérea, capacidad de captación de partículas y resistencia a contaminantes.

Se analizaron también las características de aplicación de fitosanitarios en las parcelas colindantes, incluyendo el tipo de maquinaria, boquillas de pulverización, condiciones meteorológicas predominantes y distancias a las áreas restauradas. A partir de estos datos, se modelizó la reducción esperada de la deriva en diferentes escenarios de intervención vegetal.

Resultados

Los resultados revelaron una notable variabilidad en la eficacia potencial de las barreras vegetales existentes, dependiendo de su composición y orientación. En la gravera de Almenara, los tramos con predominancia de *Salix sp.* y

Populus nigra presentaban una mayor altura y densidad, con una capacidad superior de interceptación, especialmente en las zonas norte y este. Por el contrario, en El Porcal se evidenció una cobertura menos densa y más fragmentada, compuesta por árboles de porte medio y escasa vegetación arbustiva, lo que disminuye su eficacia como barrera fitosanitaria.

Las modelizaciones indicaron que las bandas vegetales multiestrato pueden reducir la deriva aérea en hasta un 65%, dependiendo de la velocidad del viento, altura de la pulverización y densidad del seto. Se destacó también el valor añadido de estas formaciones como corredores ecológicos y refugios de biodiversidad, con presencia de especies indicadoras como *Fraxinus angustifolia*, *Sambucus nigra* y *Rubus ulmifolius*.

Discusión

Los hallazgos del estudio refuerzan la necesidad de integrar la planificación de barreras vegetales en la gestión territorial de zonas agrícolas adyacentes a espacios restaurados. La eficacia de estas barreras no solo radica en su estructura física, sino en su integración ecológica en el paisaje y su capacidad de ofrecer múltiples servicios ecosistémicos simultáneamente. A pesar de las limitaciones observadas en algunos tramos, se evidenció que incluso formaciones espontáneas pueden desempeñar una función de filtro ecológico si se gestionan adecuadamente. Se discute asimismo la importancia de combinar estas soluciones vegetales con buenas prácticas agrícolas, incluyendo la

calibración de maquinaria, el uso de boquillas antideriva y la programación de aplicaciones en condiciones meteorológicas favorables.

Conclusiones

El presente estudio demuestra que la implementación estratégica de barreras vegetales en zonas de interfaz agrícola-restaurada representa una herramienta efectiva para mitigar la deriva de fitosanitarios. Las formaciones vegetales diseñadas con criterios funcionales no solo protegen los ecosistemas sensibles de la exposición a contaminantes, sino que contribuyen activamente a la restauración ecológica del paisaje y a la provisión de servicios ecosistémicos clave. Se recomienda la incorporación de esta metodología en planes de gestión agraria y restauración ambiental, así como el desarrollo de protocolos técnicos específicos para su diseño, implantación y monitoreo.

Análisis térmico de las implicaciones de la presencia de vegetación sobre la temperatura en zonas urbanas, rurales y naturalizadas en el gradiente norte- sur peninsular para la lucha y mitigación del cambio climático.

Resumen (Abstract)

El presente estudio se enmarca en el contexto del calentamiento global y la urgente necesidad de adaptar los entornos habitados a los efectos adversos del cambio climático. El proyecto analiza el papel de la vegetación como regulador térmico en tres tipologías de paisaje —urbano, rural y naturalizado— distribuidas a lo largo del eje latitudinal norte-sur de la península ibérica. Se parte del conocimiento empírico y experimental que vincula la cobertura vegetal con la generación de microclimas más benignos, en particular en entornos urbanos sujetos al fenómeno de isla de calor. A través de un diseño comparado y multirregional, se seleccionaron enclaves en Vizcaya, Salamanca y Málaga representativos de climas y usos del suelo contrastantes. Mediante sensores térmicos, imágenes satelitales y análisis geoestadísticos se cuantificaron las diferencias de temperatura superficial y ambiental en función del grado de cobertura vegetal. Los resultados demuestran que la vegetación tiene un impacto significativo en la atenuación térmica, con efectos más notables en entornos urbanos densos y en paisajes degradados restaurados con criterios ecológicos. El estudio concluye que la planificación vegetal, tanto en el diseño

urbano como en la restauración ecológica, es una herramienta eficaz y necesaria para mitigar las consecuencias térmicas del cambio climático.

Palabras clave (Keywords)

Cambio climático, regulación térmica, vegetación urbana, isla de calor, servicios ecosistémicos, adaptación climática, restauración ecológica, microclima, gradiente norte-sur, gestión del paisaje

Introducción

El incremento sostenido de las temperaturas medias globales constituye uno de los mayores retos ambientales del siglo XXI. Este fenómeno, catalizado por el aumento de gases de efecto invernadero, tiene efectos especialmente graves en las zonas urbanas, donde las condiciones microclimáticas se ven exacerbadas por la concentración de infraestructuras, la escasa cobertura vegetal y la alta densidad de emisiones antropogénicas. Esta realidad se manifiesta de forma particularmente crítica en las regiones mediterráneas, donde los veranos secos y prolongados se traducen en estrés térmico severo para la población humana, la biodiversidad y los sistemas urbanos.

El fenómeno conocido como isla de calor urbana describe el aumento de temperatura en las áreas edificadas respecto a sus alrededores rurales o naturalizados, debido a la menor reflectancia de los materiales constructivos (albedo), la baja evapotranspiración y el almacenamiento de calor en superficies duras. Frente a este problema, la vegetación se presenta como un regulador térmico natural capaz de mitigar los extremos térmicos mediante mecanismos como la sombra, la transpiración y la modificación del albedo local.

Este proyecto se propone evaluar empíricamente las implicaciones térmicas de la vegetación en distintos contextos territoriales —urbano, rural y naturalizado— a lo largo del eje latitudinal peninsular. El objetivo es aportar evidencias científicas que sustenten la integración de soluciones basadas en la naturaleza en estrategias de adaptación climática, particularmente en políticas de ordenación del territorio, planificación urbana y restauración ecológica.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron tres localizaciones estratégicas que representan distintos puntos del gradiente norte-sur peninsular y diferentes realidades ecológicas, socioeconómicas y climáticas:

- **Vizcaya (País Vasco):** zona de clima oceánico, elevada pluviometría y urbanización densa.
- **Salamanca (Castilla y León):** área mesetaria de clima continental seco, con paisaje rural y mosaicos agroambientales.

- **Málaga (Andalucía):** espacio de clima mediterráneo árido, con fuerte presión urbana y espacios restaurados tras minería.

En cada enclave se delimitaron áreas de estudio con tipologías de cobertura diferenciadas: zonas densamente urbanizadas sin vegetación, zonas verdes urbanas, áreas rurales productivas y espacios naturalizados (muchos de ellos restaurados tras actividad extractiva).

Se emplearon múltiples herramientas de medición y análisis:

1. **Termografía infrarroja aérea y terrestre** para evaluar temperaturas superficiales.
2. **Sensores meteorológicos de campo** para registrar temperaturas del aire, humedad relativa y velocidad del viento.
3. **Imágenes de satélite (Landsat y Sentinel)** para análisis multitemporal de índices de vegetación (NDVI) y temperatura de superficie terrestre (LST).
4. **SIG y análisis estadístico espacial** para integrar datos geográficos, climáticos y de cobertura.

Los datos fueron recogidos de forma estacional (verano y primavera), permitiendo evaluar los efectos térmicos en periodos críticos. Se aplicaron ANOVA, análisis de regresión y comparación de medias para evaluar diferencias significativas entre tipos de cobertura y regiones.

Resultados

Los resultados fueron consistentes en los tres territorios: la vegetación tiene un impacto significativo y medible en la reducción de temperatura superficial y ambiental. Las zonas urbanas sin cobertura vegetal mostraron temperaturas entre 3,5 °C y 6 °C superiores a las zonas verdes colindantes en los momentos de máxima insolación. Las diferencias fueron mayores en entornos secos y áridos como Málaga, donde la cobertura vegetal escasa incrementa el efecto isla de calor.

En áreas restauradas con criterios ecológicos, como algunas canteras y graveras transformadas en humedales o bosques de ribera, la temperatura del aire fue hasta 4 °C inferior a la registrada en zonas agrícolas monoculturales adyacentes. En Vizcaya, el efecto atenuador de los parques urbanos fue más moderado, pero igualmente significativo, mostrando que incluso en climas húmedos la vegetación aporta beneficios térmicos tangibles.

Además, el análisis multitemporal mostró una tendencia clara: cuanto mayor es el NDVI, menor es la temperatura superficial en imágenes satelitales. Esta relación fue más intensa en entornos urbanos, validando la hipótesis de que la planificación vegetal puede actuar como infraestructura climática.

Discusión

Los datos obtenidos ratifican el papel estratégico de la vegetación como herramienta de adaptación al cambio climático en contextos urbanos y rurales.

En particular, los resultados refuerzan la necesidad de promover infraestructuras verdes como parte esencial del diseño urbano sostenible. Asimismo, subrayan la importancia de incorporar criterios de restauración ecológica no solo en términos de biodiversidad o funcionalidad hidrológica, sino también como mecanismo de regulación térmica.

La diversidad estructural y fisiológica de la vegetación influye de forma directa en su capacidad de atenuación térmica. Las especies de hoja caduca con gran superficie foliar y sistemas radiculares profundos fueron especialmente eficaces, así como las masas arbóreas combinadas con estrato arbustivo y herbáceo. Además, se destaca que la vegetación natural o restaurada ofrece ventajas adicionales como hábitat, conectividad y captación de carbono, ampliando así el valor de sus servicios ecosistémicos.

Este estudio también pone de manifiesto la necesidad de integrar las escalas local y regional en la planificación climática. La actuación sobre espacios puntuales —como parques, márgenes fluviales o techos verdes— tiene un efecto multiplicador cuando se articula dentro de redes ecológicas funcionales.

Conclusiones

La investigación confirma que la presencia de vegetación, especialmente si es estructurada y continua, ejerce una influencia decisiva sobre la regulación térmica del entorno, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a la mejora del confort térmico en zonas urbanas, rurales y restauradas. Esta

función se manifiesta tanto a escala local —microclima— como en patrones de temperatura regional.

Se recomienda por tanto:

- Integrar soluciones basadas en vegetación en las políticas de adaptación climática urbana.
- Priorizar especies nativas adaptadas climáticamente y con alto índice de transpiración.
- Restaurar espacios degradados con criterios de multifuncionalidad ecológica, incluyendo el servicio de regulación térmica.
- Incorporar la variable térmica en los indicadores de éxito de restauraciones ecológicas.

Este trabajo fortalece la evidencia científica sobre el valor multifuncional de la vegetación y sitúa a la planificación ecológica como una necesidad estratégica en la lucha contra los impactos del cambio climático.

El Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico a través de la Orden de 1 de julio de 2021 (BOE nº 166 de 13 de julio), por la que se convoca para el año 2021 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 ha financiado dichos proyectos de investigación desarrollados por la Fundación Tormes-EB en el año 2021