

ESTRATÉGIAS PARA RESTAURAR ECOSISTEMAS DEGRADADOS POR ATIVIDADES INDUSTRIAIS

STRATEGIES FOR RESTORING ECOSYSTEMS DEGRADED BY INDUSTRIAL ACTIVITIES

ESTRATEGIAS PARA RESTAURAR ECOSISTEMAS DEGRADADOS POR ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Hyun Suk Lee¹

RESUMO: Este artigo considera a restauração de ecossistemas industriais destruídos por atividades industriais e pela poluição, incluindo contaminação do solo, perda de biodiversidade e fragmentação. Ao analisar a literatura sobre restauração ecológica, é fornecida uma visão geral de tais técnicas, incluindo diferentes tipos de micorrização, fitorremediação, revegetação com espécies nativas e soluções baseadas na natureza, além do monitoramento ambiental. Além disso, é dada maior ênfase ao envolvimento da comunidade e à educação ambiental, bem como à importância das leis e da regulação/legislação de políticas públicas. A análise destaca que as intervenções precisam ser adaptadas às características de cada ecossistema e que as evidências científicas, as tecnologias de monitoramento e as práticas locais devem ser associadas. Destaca-se, ainda, corredores ecológicos e a restauração do solo como forma de apoiar a conectividade ambiental e a resiliência. Conclui-se que a restauração de áreas afetadas por atividades industriais exige planejamento integrado, avaliação contínua e colaboração entre governos, empresas e comunidades, para promover a recuperação ecológica e a sustentabilidade de longo prazo.

1

Palavras-chave: Restauração ecológica. Ecossistemas degradados. Atividades industriais.

ABSTRACT: This article examines the restoration of ecosystems damaged by industrial activities and pollution, addressing issues such as soil contamination, biodiversity loss, and fragmentation. A review of the literature on ecological restoration provides an overview of relevant techniques—including various forms of mycorrhization, phytoremediation, revegetation with native species, and nature-based solutions—as well as environmental monitoring. Furthermore, emphasis is placed on community engagement and environmental education, alongside the importance of legislation and public policy regulations. The analysis highlights the need to tailor interventions to the specific characteristics of each ecosystem and to integrate scientific evidence, monitoring technologies, and local practices. Particular attention is given to ecological corridors and soil restoration as means of fostering environmental connectivity and resilience. The article concludes that restoring areas affected by industrial activities requires integrated planning, continuous assessment, and collaboration among governments, businesses, and communities to ensure ecological recovery and long-term sustainability.

Keywords: Ecological restoration. Degraded ecosystems. Industrial activities.

¹Doutorando em Direito Internacional pela Universidad Autónoma de Asunción (Paraguai) e em Direito pela Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina). Mestre em Educação pela Universidad Autónoma de Asunción, em Direito Ambiental e Políticas Públicas pela Pontificia Universidad Católica del Ecuador e em Direito Constitucional Processual pela Universidad Nacional de Loja. Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Paraíba, em Ciências Contábeis pela Universidade Estadual do Tocantins e em Direito pela Universidade Federal do Tocantins.

RESUMEN: Este artículo aborda la restauración de ecosistemas industriales degradados por actividades industriales y la contaminación, incluyendo la contaminación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la fragmentación. A partir del análisis de la literatura sobre restauración ecológica, se ofrece una visión general de dichas técnicas, tales como diferentes tipos de micorrización, fitorremediación, revegetación con especies nativas y soluciones basadas en la naturaleza, además del monitoreo ambiental. Asimismo, se pone especial énfasis en la participación comunitaria y la educación ambiental, así como en la importancia de las leyes y la regulación de políticas públicas. El análisis destaca que las intervenciones deben adaptarse a las características de cada ecosistema y que es preciso integrar la evidencia científica, las tecnologías de monitoreo y las prácticas locales. También se resaltan los corredores ecológicos y la restauración del suelo como mecanismos para favorecer la conectividad ambiental y la resiliencia. Se concluye que la restauración de áreas afectadas por actividades industriales requiere una planificación integrada, una evaluación continua y la colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades para promover la recuperación ecológica y la sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: Restauración ecológica. Ecosistemas degradados. Actividades industriales.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas como resultado de las actividades industriales es quizás el mayor problema para la sostenibilidad ambiental global. Debido a la extracción de recursos naturales, la disposición inadecuada de residuos y la expansión de la infraestructura industrial, se producen daños ambientales generalizados y graves, como contaminación por metales pesados, deforestación y contaminación del agua. Como resultado, se daña la biodiversidad y se comprometen servicios ecosistémicos necesarios, incluida la regulación del clima, la purificación del agua y la fertilidad del suelo. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de enfoques de restauración ecológica eficaces que puedan revertir o minimizar estos impactos.

Así, las estrategias de restauración ecológica son soluciones cruciales al daño ambiental, promoviendo simultáneamente la recuperación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos (AGUILAR-GARAVITO; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, 2016). Las prácticas comunes incluyen la revegetación con especies nativas, la reintroducción de fauna y flora y la bioingeniería de ecosistemas.

Estos métodos aumentan la resiliencia del ecosistema y aceleran la recuperación natural. Entre las técnicas utilizadas se encuentra la fitorremediación mediante plantas capaces de acumular o inmovilizar determinados metales en suelos contaminados. Sin embargo, la introducción de enfoques integrales también es un requisito vital para una restauración ecológica exitosa.

La integración de tecnologías innovadoras, prácticas tradicionales y enfoques comunitarios puede producir resultados mucho más efectivos que cualquier enfoque individual. Las técnicas modernas como los drones permiten realizar diagnósticos más precisos del entorno y tomar medidas más específicas, lo que a su vez reduce costes y aumenta la eficiencia. Además, la participación comunitaria es parte integral de cualquier proyecto.

Los estudios muestran que las acciones de restauración que involucran a la comunidad local tienen más probabilidades de tener éxito, ya que estimulan la conciencia y fortalecen la gobernanza local.

Por último, las políticas públicas verdaderamente efectivas son una parte esencial de estos esfuerzos. La combinación de sanciones severas para las empresas que no cumplan las pautas e incentivos específicos puede ayudar a fomentar prácticas más sostenibles en todas las industrias y comunidades. Dada la gravedad y la degradación ambiental resultante de la actividad industrial, la demanda de sistemas integrados de recuperación ecológica es urgente.

El uso de enfoques basados en la ciencia, la innovación tecnológica, la participación comunitaria y políticas públicas efectivas son las estrategias más prometedoras para garantizar la recuperación de los sistemas y la sostenibilidad ecológica.

MÉTODO

3

Esta es una investigación cualitativa, bibliográfica, documental y descriptiva, basada en una revisión narrativa de la literatura relacionada con la restauración de ecosistemas degradados por actividades industriales. Se analizaron estudios y documentos técnicos sobre recuperación de suelos, micorrización, fitorremediación, revegetación, soluciones basadas en la naturaleza, monitoreo ambiental, así como aspectos sociales/institucionales. No se incluyeron experimentos ni trabajo de campo.

La búsqueda bibliográfica se realizó principalmente mediante Google Académico. Estas fuentes, publicadas entre 2001 y 2025, fueron seleccionadas por su relación con las estrategias estudiadas. Esto incluyó investigaciones sobre ecosistemas no industriales donde los procedimientos contribuyeron a nuestro trabajo, respetando a la vez las diferencias de contexto. La revisión no fue sistemática ni exhaustiva.

Las publicaciones se ordenaron por ejes temáticos y se analizaron de manera descriptiva, considerando las aplicaciones, potencialidades y limitaciones de cada estrategia. Se

diferenciaron los resultados de las publicaciones consultadas de las interpretaciones de esta revisión, evitando conclusiones generales sobre su eficacia en áreas industriales.

RESTAURACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

La contaminación del suelo por metales pesados es uno de los problemas ambientales más graves derivados de las actividades industriales. Como este grupo de contaminantes incluye el cadmio, el plomo y el mercurio, la contaminación del suelo tiene un impacto negativo significativo en la calidad del suelo, la biodiversidad y los alimentos (ÁLVAREZ-ÁLVAREZ et al., 2024). Debido a esta contaminación, no solo se reduce drásticamente la fertilidad del suelo, sino que también representa un peligro directo para la salud humana, ya que estos metales pueden ingresar a la cadena alimentaria. Esta situación requiere soluciones ambientalmente viables y medidas efectivas para corregir daño ambiental.

Micorrización controlada y una estrategia para la recuperación de suelos contaminados. La asociación simbiótica entre hongos micorrízicos y raíces de plantas. Esta técnica ayuda en la absorción de nutrientes y en la resistencia de las plantas a estresores ambientales, haciéndola esencial para la revegetación de áreas degradadas (MADRID; FERNÁNDEZ-MIRANDA CAGIGAL; CASARES, 2016). Su implementación contribuye a la reestructuración del suelo y al restablecimiento de los procesos ecológicos naturales.

4

La producción de inóculo fúngico adaptado a suelos degradados es otra actitud complementaria. La producción de inóculos mejora la interacción entre hongos y plantas, lo que resulta ventajoso para la revegetación y la capacidad de las plantas para adaptarse al suelo contaminado. Además, este enfoque beneficia la biodiversidad del suelo y el desarrollo de una vegetación más resiliente. (MADRID; FERNÁNDEZ-MIRANDA CAGIGAL; CASARES, 2016).

Banerjee et al. (2025) analizaron, mediante una revisión y un metaanálisis, la eficacia de los hongos micorrízicos arbusculares en la remediación de metales tóxicos en suelos afectados por la minería. Este estudio permite considerar la micorrización como una herramienta complementaria de remediación, pero no constituye una solución universal para todos los casos: sus efectos dependerán de la naturaleza de la contaminación, de las plantas asociadas y de las condiciones del suelo. Por tanto, su aplicabilidad debe evaluarse antes de su implementación en cada una de las áreas afectadas.

La diversidad de hongos es fundamental para la restauración de ecosistemas degradados. Las características de crecimiento y adaptación de diferentes especies de hongos micorrícicos deben tenerse en cuenta al elegir los métodos de restauración adecuados para áreas degradadas. Por tanto, la elección correcta de las especies de hongos es un elemento crucial para la eficiencia y eficacia de los procesos de revegetación y micorrización los hace más favorables para el desarrollo de las plantas y la recuperación de las funciones ecológicas. En este sentido, se destaca la necesidad de seleccionar especies de hongos y condiciones de cultivo con el fin de obtener inoculantes que puedan utilizarse para la micorrización de árboles en zonas de restauración afectadas por actividades industriales.

La fitorremediación puede ser una alternativa de menor costo para tratar determinados suelos contaminados, aunque su eficacia y duración dependen del contaminante, de las plantas empleadas y de las condiciones del lugar. Es un proceso mediante el cual algunas plantas pueden extraer, inmovilizar o transformar determinados contaminantes que se encuentran en los suelos, haciendo así el acto de eliminación mucho más sostenible en términos de impactos ambientales. Al mismo tiempo, además de ser una solución mucho más económica, su aplicación requiere verificar la reducción de riesgos mediante análisis del suelo, ya que el crecimiento vegetal no demuestra por sí solo la eliminación de contaminantes.

5

Una estrategia relevante consiste en la rehabilitación de suelos degradados mediante técnicas de enriquecimiento orgánico y control de la erosión. Estas prácticas son necesarias para restaurar la fertilidad del suelo y asegurar la sostenibilidad del ecosistema recuperado. El uso de materiales orgánicos y barreras naturales para contener la erosión ayuda a revitalizar la estructura del suelo y prevenir futuros procesos de degradación. Además, en la recuperación de áreas degradadas se deberían utilizar especies vegetales adaptadas al ecosistema local.

Las plantas nativas se integran más fácilmente al entorno, promoviendo la regeneración natural y aumentando la estabilización del ecosistema. Al recuperar la cobertura vegetal, este enfoque respeta la dinámica ecológica local y promueve la recuperación del propio sistema. Por lo tanto, tanto la micorrización controlada como la fitorremediación, la producción de inóculo fúngico y el uso de especies vegetales deben utilizarse para la restauración de ecosistemas degradados. La implementación de todas estas técnicas ayuda a recuperar el suelo, los niveles de biodiversidad y restablecer un ambiente equilibrado (GALVIS ROJAS, 2020).

La descontaminación del suelo no equivale a la reestabilización de la cobertura vegetal. La elección de las técnicas debe tener en cuenta el tipo de contaminantes, su concentración, la

disponibilidad de intervenciones con especies adaptadas, la ventana de tiempo y los parámetros físico-químicos monitoreados. Aunque se ha demostrado que la micorrización proporciona recuperación mediante fitorremediación, nuestros resultados no deben extrapolarse a otros sitios industriales.

REVEGETACIÓN CON ESPECIES NATIVAS

La revegetación mediante el uso de especies nativas es una estrategia fundamental para la restauración de ecosistemas degradados. Adaptadas a las condiciones locales, estas especies facilitan la recuperación de la cobertura vegetal y restablecen el equilibrio ecológico, mejorando así el éxito de la restauración. (ISABEL RUFO et al., 2018).

La degradación del suelo y las presiones del cambio climático han generado desafíos para la restauración ecológica. Superarlos exige la síntesis de conocimientos técnicos, prácticas tradicionales y tecnologías recientemente desarrolladas, con enfoques adaptados a las circunstancias de cada ecosistema. Estas acciones preservan el medio ambiente y contribuyen a una mayor sostenibilidad para las próximas generaciones. (ISABEL RUFO et al., 2018).

Además, técnicas como la nucleación ecológica, la plantación aislada de especies nativas y la rehabilitación de suelos son fundamentales para promover la sucesión ecológica y fomentar la recuperación de las especies nativas. La nucleación consiste en crear pequeños grupos de plantas nativas para ayudar a que la vegetación vuelva a crecer y facilitar el proceso de regeneración de un modo que genere condiciones para que este ecosistema se recupere con el tiempo. También sugiere Galvis Rojas (2020) que la nucleación con especies nativas y la plantación aislada, tal como se propone, son estrategias para restaurar las áreas degradadas por la minería.

Schneider et al. (2023) revisaron las especies vegetales, las prácticas silvícolas y los procedimientos de monitoreo en el contexto de la restauración de áreas protegidas del Bosque Atlántico. Esto permite una separación entre intervenciones activas (por ejemplo, la plantación de especies) y los procesos de regeneración natural. Sin embargo, el uso de estas técnicas para sitios industriales depende del conocimiento previo de las condiciones del suelo, el alcance de la contaminación y la capacidad de la vegetación local para establecerse.

Así, los bancos locales de semillas proporcionan un recurso ecológico que ayudará a acelerar estos procesos al aportar las especies disponibles en su hogar ecológico regional. Por lo tanto, esta práctica garantiza que siempre exista cierta cobertura de plantas, así como la

conservación de las especies nativas y la variabilidad genética adecuada (ISABEL RUFO et al., 2018).

La práctica de reforestación con especies nativas puede compararse a devolverle el ritmo natural a la misma canción que se ha interrumpido. Después de todo, la reintroducción de plantas nativas, originalmente un componente del ecosistema, fue identificada por los investigadores como la estrategia que permitiría recuperar efectivamente áreas a veces altamente contaminadas y degradadas, restableciendo su equilibrio ecológico y permitiéndoles florecer nuevamente. En otras palabras, al recrear un entorno en el que la vegetación puede florecer de forma natural, también se crean las condiciones para que la fauna local vuelva a ocupar su antiguo hogar. Sin embargo, la función del ecosistema como soporte natural de la flora y la fauna se restablece, permitiendo que sus numerosos mecanismos bioquímicos reanuden su pleno funcionamiento. (ACOSTA CASTRO, 2016).

Una vez que estos elementos indicados hayan vuelto a la normalidad, se puede comenzar la restauración. La mediación gradual del ecosistema a través de especies nativas ayuda a restaurar la biodiversidad y a superar las brechas de hábitat. El método ayuda a que el desarrollo de la sucesión ecológica se produzca de forma adaptativa, mejorando la resiliencia del ecosistema. Los caminos de movilidad entre territorios de vegetación a través de corredores ecológicos son claves para preservar la naturaleza.

La integración del hábitat reduce el aislamiento genético y promueve la dispersión de especies, manteniendo estables los ecosistemas. Un plan de acción basado en el seguimiento de estudios florísticos y faunísticos también es una herramienta esencial. Este programa proporciona control sobre las acciones más adecuadas; En particular, proporciona información precisa sobre sus necesidades. Los criterios ecológicos estrictos juegan un papel decisivo. La experimentación es fundamental en este sentido, y la obtención de semillas de calidad garantizada y la producción de plántulas son precauciones necesarias para evitar que se sequen después de su apropiación.

Estas precauciones son vitales para el éxito del esfuerzo. Todas estas prácticas se reducen a un enfoque responsable y planificado basado en estudios en profundidad. La restauración de ecosistemas no es sólo una tarea técnica; es responsabilidad de mantener el equilibrio ecológico y proteger la biodiversidad (SÁNCHEZ, 2002).

Por tanto, se hace imprescindible determinar un ecosistema de referencia, que sirva de base para la planificación y evaluación de acciones de recuperación ambiental. Este parámetro,

a su vez, funcionará como un estándar mediante el cual será posible monitorear el progreso alcanzado por las acciones implementadas y, de ser necesario, adaptar los enfoques utilizados. Al considerar las solicitudes, se puede garantizar la recuperación ambiental con mayor precisión y eficiencia. (VARGAS RÍOS, 2011).

Por lo tanto, considerando que cada ecosistema degradado requiere una estrategia diferente, un enfoque integrado y flexible es crucial. Después de todo, la sostenibilidad no es sólo un concepto teórico, sino un ideal en el que debe basarse la práctica. En este sentido, un enfoque mixto basado en diferentes enfoques resulta más eficaz y duradero.

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN)

Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) ofrecen algunas alternativas para la restauración de áreas degradadas por actividades industriales. Estos enfoques combinan infraestructura verde y procesos naturales con infraestructura gris para fomentar la restauración ambiental y crear beneficios sociales y económicos para las poblaciones afectadas (ISABEL RUFO et al., 2018).

La creación de corredores ecológicos es una prioridad para garantizar el restablecimiento de los hábitats amurallados, condición fundamental para la supervivencia de varios sectores de vida y la resiliencia de los ecosistemas al mejorar las conexiones que permite el sitio a la vida del grupo. (AGUILAR-GARAVITO; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, 2016).

La implementación de un corredor ecológico es una idea efectiva para localizar hábitats suturados, promover la resiliencia del ecosistema y conservar la diversidad de vida en el grupo. (AGUILAR-GARAVITO; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, 2016).

Al reflexionar sobre la dinámica de la naturaleza, entendemos que los ecosistemas encajan como piezas de un rompecabezas. Como resultado, cuando estos entornos se separan o dividen, pierden la capacidad de sustentar la diversidad biológica necesaria. Por lo tanto, a nivel práctico, los corredores ecológicos constituyen una solución innovadora para restablecer la conectividad. Los investigadores sostienen que estos pasos naturales para la vida silvestre permiten un movimiento seguro de la misma, aumentando el flujo genético y la capacidad de los animales para sobrevivir al cambio climático y a las presiones humanas. (AGUILAR-GARAVITO; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, 2016).

Con el fin de conservar los recursos hídricos, la creación de zonas de protección alrededor de las riberas de los ríos ha sido una iniciativa importante. Regiones de este tipo

ayudan a salvar la fauna y la flora nativas, reducen la erosión del suelo y aumentan la pureza del agua. Estas medidas son cruciales para preservar el equilibrio natural, especialmente en las zonas donde la influencia humana es más intensa. (ACOSTA CASTRO, 2016)

Se define el perímetro de estas zonas de protección; El impacto de proyectos o prácticas agrícolas a gran escala se minimiza gracias a la flora autóctona que actúa como barrera natural, limpiando la contaminación y controlando el movimiento del agua. Además, esto ayuda a proteger la diversidad de especies y a hacer que los ecosistemas sean más resilientes al cambio climático. (ACOSTA CASTRO, 2016)

La renaturalización de los espacios urbanos es un factor esencial en el proceso de recuperación ambiental, ya que permite la creación de entornos más sostenibles y saludables. La introducción de elementos silvestres en áreas urbanas proporciona beneficios ecológicos y contribuye a la calidad del desempeño humano. (MARISTANY JACKSON, 2020).

La creación de zonas de amortiguación en áreas sensibles es obligatoria para garantizar, como mínimo, evitar cualquier daño resultante de las actividades humanas. Actúan como barreras de aislamiento capaces de proteger ecosistemas vulnerables, constituyendo auténticos obstáculos para los invasores del hábitat (GARCÍA VALIENTE; NOGUÉS LINARES, 2014).

Habilitar la inclusión de infraestructura verde en zonas urbanas e industriales mejora la conectividad entre ecosistemas y aumenta la resiliencia frente al cambio ambiental. Esta es una situación de beneficio mutuo, porque con esta estrategia podrías lograr tanto el desarrollo económico como la conservación del medio ambiente (Isabel Rufo et al., 2018).

La restauración de áreas industriales abandonadas debe incluir un proceso estructurado que cubra el diagnóstico, la planificación, la implementación y el seguimiento. Este ciclo es esencial para garantizar resultados efectivos y sostenibles a largo plazo. (GARCÍA VALIENTE; NOGUÉS LINARES, 2014).

Proyectos europeos como REVIT, CABERNET y RESCUE enfatizan que el legado histórico de la degradación de la tierra debe integrarse en el proceso de rehabilitación para preservar la memoria y los hechos culturales mientras se persigue la sostenibilidad. (GARCÍA VALIENTE; NOGUÉS LINARES, 2014).

La recuperación de áreas mineras dañadas no es sólo una cuestión técnica. Es necesario incorporar un conjunto diferente de conocimientos y fuentes de información para repensar estos espacios. Se puede decir que la colaboración entre el sector público y privado es esencial para aunar recursos y conocimientos en Búsqueda de soluciones efectivas en todos los frentes.

Este acuerdo puede llevar al desarrollo de proyectos que consideren tanto la recuperación ambiental como las formas de uso del suelo después de la minería. (DEL RÍO et al., 2015).

La promoción de espacios culturales adecuados a la identidad local en lugar de museos de sitio constituye una alternativa racional.

No sólo preservan la memoria histórica de la exploración de carbón, sino que también fortalecen el vínculo de la comunidad con el territorio en el que se ubica.

Preservando la cultura local, a los valores actuales se suma una propuesta de educación ambiental y social, apoyando nuevas formas de vida enfocadas en la sostenibilidad de la región. Por ello, la recuperación de áreas minadas no se limita a la restauración ambiental. Es necesario incorporar Proyectos que respetan la historia local y fomentan la participación comunitaria. Al combinar la protección del medio ambiente con un sentido de identidad cultural, estas iniciativas ayudan a construir territorios completamente nuevos para la región en su conjunto. (DEL RÍO et al., 2015).

MONITOREO Y AJUSTE CONTINUO

Estrategias bien fundamentadas y adaptables, basadas en un monitoreo continuo, serán esenciales para la restauración de los ecosistemas degradados por las actividades industriales. Según Aguilar-Garavito y Ramírez-Hernández (2016), solo evaluando continuamente las acciones e intervenciones de restauración podemos evaluar la efectividad de las intervenciones y ajustar los enfoques a medida que cambia la situación ambiental. Esta forma de gestión tiene ventajas adicionales. Especialmente en entornos que cambian rápidamente, es mucho más receptivo y eficiente.

El uso de tecnologías avanzadas, como la teledetección, agiliza enormemente el análisis de áreas recientemente restauradas, ayudando a descubrir debilidades y fortalezas en las prácticas adoptadas. Como destacan Bandyopadhyay y Maiti (2022), estas herramientas son esenciales para evaluar con precisión el progreso de la recuperación ambiental: a través de su uso, es posible armonizar al máximo la aplicación de los recursos y realizar intervenciones cada vez más focalizadas.

Silva, Correa y Prandini (2024) ,identificaron cambios en la vegetación y áreas degradadas a lo largo de la costa de Brasil, utilizando imágenes tomadas por drones en 2020 y 2021. No se realizó en regiones industriales, pero demuestra el potencial de esta tecnología para

el monitoreo ambiental. Por otro lado, por sí solas, las imágenes no sustituyen los análisis de laboratorio del suelo y el agua que detectarían contaminantes.

La aplicación de la restauración ecológica adaptativa, como lo explica Galvis Rojas (2020), permite realizar ajustes continuos a la estrategia de recuperación. Con este método, cuando el entorno cambia en una rotación constante comparable (por ejemplo, las precipitaciones estacionales), podemos hacer correcciones inmediatas o al menos minimizar las desviaciones del objetivo del ecosistema. La política permite introducir nuevos contenidos en las prácticas de investigación y restauración.

La evaluación del riesgo ambiental es un componente fundamental en este proceso. Gamarra-Jiménez y Salazar-Sánchez (2024) destacan la importancia de este paso para identificar puntos vulnerables y orientar acciones preventivas y correctivas. Sin este análisis cuidadoso, las intervenciones pueden ser ineficaces o incluso empeorar los impactos ambientales.

Herramientas de gestión como los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) pueden orientar la recuperación ambiental. En este contexto, la aplicación rigurosa de los EIA puede evaluar los riesgos existentes y las mejores formas de recuperar tierras degradadas.

Los programas de monitoreo continuo juegan un papel crucial en la evaluación del progreso de las acciones de recuperación. García Valiente y Nogués Linares (2014) sugieren que dicho monitoreo sistemático facilita ajustes oportunos, asegurando que los objetivos de restauración se cumplan de manera efectiva.

Asimismo, el uso de indicadores de desempeño ambiental y social promueve un seguimiento más efectivo de las estrategias implementadas. En él, como señalan García Valiente y Nogués Linares (2014), a pesar de ser anónimo, obliga a conocer con exactitud qué impactos positivos o negativos se derivan de aquellas actividades realizadas, orientando una toma de decisiones más realista.

Schneider et al. (2023) destacan la necesidad de utilizar indicadores ecológicos para evaluar la regeneración y la composición de la vegetación. En biomonitoreo en lugares de áreas urbanizadas, los análisis de suelo y agua acompañan a los indicadores de vegetación, porque la recuperación de la cobertura no equivale a eliminar los contaminantes.

Es crucial para el éxito de la restauración de ecosistemas que la formulación de planes estratégicos integrados tenga en cuenta los aspectos ambientales, sociales y económicos. Este enfoque holístico es clave para conciliar diferentes intereses de diversos ámbitos, promoviendo

soluciones integrales que sean completamente sostenibles. (GARCÍA VALIENTE; NOGUÉS LINARES, 2014),

Es esencial que sigamos invirtiendo en investigación sobre técnicas de restauración renovadas para mejorar las prácticas existentes y lograr mejores resultados. La innovación científica ha contribuido sustancialmente a la creación de métodos más eficaces, con menor impacto sobre el medio ambiente y con una mínima capacidad de recuperación de los mismos. (GALVIS ROJAS, 2020).

Por último, la armonización entre los diferentes sectores de la sociedad es esencial para que las estrategias de recuperación ecológica sean eficaces. La colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades locales hace posible la obtención de resultados. Garantizar la sostenibilidad de las acciones emprendidas, el compromiso conjunto con la preservación del medio ambiente. (TORRES; SÁENZ, 2015).

PARTICIPACIÓN COMUNITARIA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

Involucrar a las comunidades afectadas en la planificación e implementación de proyectos de restauración ecológica maximiza el enfoque en la concienciación ambiental, promueve acciones de recuperación más efectivas y respalda la durabilidad continua de los resultados del proyecto (Isabel Rufo et al., 2018).

La participación activa de las comunidades locales es una garantía para fortalecer la gobernanza ambiental local y crear un entorno favorable para proyectos sostenibles. Este compromiso promueve decisiones más justas que representan mejor los intereses de la gente, dando como resultado estrategias más efectivas y operativas. (MERENSON, 2001).

La Educación Ambiental surge como una herramienta básica para generar conciencia en la población sobre la salvaguarda y recuperación de los ecosistemas. Al generar conciencia y concienciar sobre los impactos ambientales y los modos de vida sustentables, estos programas educativos brindan una base para la participación ciudadana responsable en el movimiento de restauración. (MERENSON, 2001).

Los programas de educación ambiental comunitaria son estratégicos para comunicar información relevante y fomentar la participación activa en la conservación del medio ambiente. Este método ayuda a crear una comunidad viva de ambientalistas, facilitando la adopción de un modo de vida cotidiano sostenible por parte de las poblaciones locales (GALVIS ROJAS, 2020).

La participación de las comunidades locales es crucial para el éxito de las estrategias de restauración. El conocimiento tradicional de estas poblaciones complementa las soluciones técnicas puestas en práctica por los proyectos de Amparo. Este conocimiento empírico proporciona información valiosa sobre el uso sostenible de los recursos naturales, integrando las prácticas culturales en la gestión de los recursos naturales. Trabajo de recuperación. (DEL RÍO et al., 2015).

La participación comunitaria es fundamental para la sostenibilidad de las iniciativas de restauración, ya que contribuye a garantizar un bienestar social y ambiental duradero. Esta participación constante refuerza la responsabilidad compartida inherente a todos los interesados y amplía el impacto positivo de las acciones. (ACOSTA CASTRO, 2016).

La participación de la comunidad impulsa las iniciativas de restauración ambiental. Con este enfoque, la sostenibilidad se convierte en un objetivo compartido. Además, permite preservar ecosistemas degradados. De esta forma, las acciones de recuperación son más integrales y adaptadas a la realidad local. (VARGAS RÍOS, 2011).

Integrar a la comunidad local en los planes y métodos de recuperación ambiental es una buena manera de garantizar su sostenibilidad. El modelo participativo garantiza que las decisiones tengan en cuenta las demandas locales y refuerza el compromiso con la conservación. acciones (GARCÍA VALIENTE; NOGUÉS LINARES 2014).

LEGISLACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Por tanto, la actualización de la legislación ambiental es una medida esencial para promover la sostenibilidad de las actividades industriales y fomentar iniciativas de restauración ambiental. La legislación actual a menudo no logra seguir el ritmo de los rápidos cambios tecnológicos y sociales, lo que da lugar a métodos inadecuados de uso y recuperación de la tierra. De esta forma, la legislación reformada se convierte en un instrumento fundamental para establecer directrices claras y efectivas para la protección del medio ambiente. (MERENSON, 2001).

La iniciativa de restauración ecológica relacionada con el uso del suelo depende directamente de la eficacia de las regulaciones ambientales. Una vez actualizadas, estas regulaciones pueden mejorar significativamente los procesos de recuperación de áreas afectadas por actividades industriales, creando condiciones favorables para . Los mecanismos de

actualización regulatoria incluirán un seguimiento más estricto y sanciones en función del daño causado al medio ambiente y a la sostenibilidad (DEL RÍO et al., 2015).

Además, es esencial adoptar políticas públicas coherentes para regular las actividades industriales y proteger los ecosistemas. Las políticas bien diseñadas garantizan que el desarrollo económico no se produzca a expensas del . La integración de estas políticas con las iniciativas de recuperación ambiental aumenta enormemente la eficiencia de las acciones de recuperación. medio ambiente (GAMARRA-JIMÉNEZ; SALAZAR-SÁNCHEZ, 2024).

CONCLUSIÓN

Restaurar los ecosistemas dañados por las actividades industriales es esencial para restaurar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Las micorrizas controladas, la revegetación con especies nativas y las Soluciones Basadas en la Naturaleza son estrategias que, al integrarse con el monitoreo continuo y la participación comunitaria, aumentan la efectividad de las iniciativas de regeneración.

La revisión constante de la legislación ambiental y la integración de políticas públicas son medidas fundamentales para garantizar acciones de largo plazo. Estas medidas refuerzan el cumplimiento de las normas ambientales y aumentan la responsabilidad compartida entre los diferentes sectores.

La elección de varias estrategias diferentes y la participación conjunta de actores sociales, empresariales y gubernamentales también darán como resultado procesos de recuperación más eficaces. Esta integración promueve la cooperación y comparte responsabilidades, lo que facilita la implementación de soluciones sostenibles.

La restauración ecológica también ayuda a mitigar el cambio climático y aumentar el bienestar de las comunidades locales. Al restaurar los ecosistemas, se reducen los gases de efecto invernadero y se aumenta la resiliencia ambiental.

La educación ambiental y la participación comunitaria son la base sobre la que se sustentan las acciones de restauración sostenible. La implicación de la población local tiene como objetivo contribuir a la valorización de los recursos naturales y al mantenimiento de iniciativas.

Las innovaciones tecnológicas y las buenas prácticas de economía circular todavía tienen un papel importante que desempeñar en la recuperación, reduciendo la huella ecológica

y fomentando la reutilización de recursos. Estas tecnologías pueden mejorar la utilización de los materiales y reducir los residuos.

Los corredores ecológicos son esenciales para conectar hábitats fragmentados y proteger especies de alto riesgo. Estos ecosistemas proporcionan un hábitat para que la vida silvestre pueda moverse con seguridad y, al mismo tiempo, aumentan la biodiversidad local.

El monitoreo continuo y la evaluación de los riesgos ambientales son prácticas sin las cuales no tiene sentido ajustar las estrategias ni asegurar la efectividad de las intervenciones. Sin una observación regular, se detectan fallas y se implementan correcciones.

La restauración adaptativa considera las especificidades de cada ecosistema, permitiendo respuestas más efectivas a los cambios ambientales. Este enfoque flexible adapta los métodos según las necesidades de las condiciones locales.

Para que las políticas públicas de restauración tengan éxito es necesario involucrar a los sectores gubernamentales, empresariales y comunitarios. La colaboración entre diferentes sectores aporta recursos y aumenta el impacto positivo de las acciones.

REFERENCIAS

1. ACOSTA CASTRO, Diana Liseth. Propuesta de restauración ecológica en los bosques de galería presentes en el área de influencia directa del estudio de impacto ambiental Guarupayo. 2016. Monografía (Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales) – Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2016.
2. AGUILAR-GARAVITO, M.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, W. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2016.
3. ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, M. J. et al. Environmental impact associated with anthropogenic factors: impact on the economy of hydrographic basins. *Journal Scientific MQRInvestigar*, v. 8, n. 4, p. 2158–2180, 2024.
4. BANDYOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Steering restoration of coal mining degraded ecosystem to achieve sustainable development goal-13 (climate action): United Nations decade of ecosystem restoration (2021–2030). *Environmental Science and Pollution Research*, 2022.
5. BANERJEE, Sonali et al. A review and meta-analysis of the efficacy of arbuscular mycorrhizal fungi in remediating toxic metals in mine-affected soils. *Frontiers in Environmental Science*, v. 12, e1532169, 2025.
6. BERNAL, M. P. et al. Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. *Ecosistemas*, v. 16, n. 2, 2007.

7. DEL RÍO, J. L. et al. Estrategias para la valorización y rehabilitación del patrimonio minero de Batán-Chapadmalal, Mar del Plata, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, n. 35, p. 35-44, 2015.
8. GALVIS ROJAS, W. D. Plan de restauración ecológica en áreas priorizadas al interior del polígono minero BA3-152 en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá. 2020. Tesis (Maestría en Gestión Ambiental) – Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2020.
9. GAMARRA-JIMÉNEZ, A. I.; SALAZAR-SÁNCHEZ, M. del R. Microplastics in continental water sources: impact and mitigation strategies from the perspective of agroindustrial engineering. *BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2024.
10. GARCÍA VALIENTE, Nieves; NOGUÉS LINARES, Soledad. La identificación de espacios mineros e industriales abandonados: el caso del Bajo Besaya. In: CONGRESO LATINOAMERICANO SOBRE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, TECNOLOGÍA DE LA REHABILITACIÓN Y GESTIÓN DEL PATRIMONIO, 5., 2014, Santander. Actas [...]. Santander: Universidad de Cantabria, 2014. p. 197-205.
11. ISABEL RUFO, J. M. et al. Aplicación de soluciones basadas en la naturaleza mediante restauración ecológica y promoción de la biodiversidad en las zonas verdes de un parque industrial en el centro de España. In: CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, 14., 2018, Madrid. Comunicación técnica. Madrid: Conama, 2018.
12. MADRID, M.; FERNÁNDEZ-MIRANDA CAGIGAL, E.; CASARES, A. Producción de inóculo fúngico para la micorrización de árboles destinados a recuperar zonas degradadas por la actividad industrial. 2016.
13. MARISTANY JACKSON, L. Objetivos y estrategias para el proyecto territorial de los espacios abiertos metropolitanos: hacia una ecología regional. In: CONGRESO ISUF-H, 4., 2020, Barcelona. Metrópolis en recomposición: prospectivas proyectuales en el siglo XXI: forma urbis y territorios metropolitanos. Barcelona: DUOT, UPC, 2020. p. 1-17.
14. MERENSON, Carlos. Estrategia nacional de desarrollo sustentable: documento base. Buenos Aires: Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, 2001. 50 p.
15. SÁNCHEZ, L. E. Impactos sobre los ecosistemas. In: CURSO INTERNACIONAL DE ASPECTOS GEOLÓGICOS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, 2., 2002. Notas de clases. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe, 2002. p. 322-331.
16. SCHNEIDER, Chaiane Rodrigues et al. Espécies, práticas silviculturais e monitoramento: estratégias para restauração ecológica de áreas protegidas da Mata Atlântica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 33, n. 4, e74057, 2023.
17. SILVA, Cesar; CORREA, Alan D'Oliveira; PRANDINI, Matheus Kopp. Environmental quality monitoring of restingas in the coast of southern Brazil using high resolution images: a tool for environmental management. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 29, e20240002, 2024.

18. TORRES, L. A. S.; SÁENZ, P. A. O. Bases metodológicas para conformar un parque industrial ecoeficiente en el complejo San Jorge de Mosquera. Boletín Semillas Ambientales, v. 9, n. 2, 2015.
19. VARGAS RÍOS, O. Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. Acta Biológica Colombiana, v. 16, n. 2, p. 221–246, 2011.