



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i4.4609>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

***Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología***

***Smart ecological restoration and the bioethical imperative: human reconciliation with degraded forests through biotechnology***

***Restauração ecológica inteligente e o imperativo bioético: a reconciliação humana com florestas degradadas por meio da biotecnologia***

Fernanda Justine Quinteros Cevallos <sup>I</sup>  
[fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec](mailto:fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6207-4417>

Kenner Andrés Clevel Altafuya <sup>II</sup>  
[kenner.clevel.altafuya@utelvt.edu.ec](mailto:kenner.clevel.altafuya@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-6535-9746>

Rosa Clemencia Cruel Angulo <sup>III</sup>  
[rosa.cruel@utelvt.edu.ec](mailto:rosa.cruel@utelvt.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8250-7419>

Erika Valquiria Hurtado Escobar <sup>IV</sup>  
[ehurtadoescobar@gmail.com](mailto:ehurtadoescobar@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-9178-2439>

**Correspondencia:** [fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec](mailto:fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec)

\***Recibido:** 13 de octubre de 2025 \***Aceptado:** 18 de noviembre de 2025 \***Publicado:** 10 de diciembre de 2025

- I. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

### Resumen

La rápida degradación ecológica del Antropoceno requiere estrategias de restauración basadas en la ciencia, la tecnología y la ética. La Restauración Ecológica Inteligente (REI) se considera un enfoque avanzado de restauración que utiliza inteligencia artificial, análisis predictivo y biotecnología junto con el conocimiento ecológico nativo y la gestión socioambiental. Este artículo investiga cómo pueden desempeñar un papel en lograr una reconciliación significativa entre la sociedad y los ecosistemas forestales degradados y discute los riesgos, límites y aspectos bioéticos de los modelos. Los hallazgos del análisis sugieren que la IA mejora la precisión y escala de las intervenciones aplicadas, optimiza la asignación de recursos y fortalece la capacidad adaptativa en respuesta a las perturbaciones climáticas. Al mismo tiempo, la biotecnología ambiental busca acelerar la recuperación de suelos y plantas mediante microorganismos, bioestimulantes y técnicas genéticas orientadas a la resiliencia biológica. Pero estos avances también conllevan preocupaciones éticas sobre la manipulación de especies, la dependencia tecnológica y el potencial de homogeneización genética. Se hace necesario enfatizar la necesidad de estructuras de gobernanza inclusivas y participativas basadas en principios de justicia, equidad y responsabilidad intergeneracional. El estudio postula que la REI solo puede ser legítima y sostenible cuando se implementa en un contexto bioético y legal que limite la intervención excesiva, priorice la recuperación pasiva cuando sea posible y abrace tecnologías para fomentar el florecimiento del ecosistema. Y lo que significa la restauración reconciliación se convierte en un proyecto civilizacional que da expresión a la ciencia, la ética y la gobernanza para restaurar la vida en las tierras.

**Palabras clave:** restauración ecológica inteligente; biotecnología ambiental; inteligencia artificial; bioética ambiental; resiliencia del ecosistema.

### Abstract

The rapid ecological degradation of the Anthropocene necessitates restoration strategies grounded in science, technology, and ethics. Intelligent Ecological Restoration (IER) is considered an advanced restoration approach that utilizes artificial intelligence, predictive analytics, and biotechnology alongside native ecological knowledge and socio-environmental management. This article investigates how these technologies can play a role in achieving meaningful reconciliation between society and degraded forest ecosystems and discusses the risks, limitations, and bioethical aspects of the models. The analysis suggests that AI improves the accuracy and scale of applied interventions,

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

optimizes resource allocation, and strengthens adaptive capacity in response to climate disturbances. Simultaneously, environmental biotechnology seeks to accelerate soil and plant recovery through microorganisms, biostimulants, and genetic techniques aimed at biological resilience. However, these advances also raise ethical concerns regarding species manipulation, technological dependence, and the potential for genetic homogenization. It is necessary to emphasize the need for inclusive and participatory governance structures based on principles of justice, equity, and intergenerational responsibility. The study posits that ecologically sound restoration (ESR) can only be legitimate and sustainable when implemented within a bioethical and legal framework that limits excessive intervention, prioritizes passive recovery whenever possible, and embraces technologies to foster ecosystem flourishing. Thus, restoring and reconciling ecosystems becomes a civilizational project that gives expression to science, ethics, and governance to restore life to the land.

**Keywords:** ecologically sound restoration; environmental biotechnology; artificial intelligence; environmental bioethics; ecosystem resilience.

### Resumo

A rápida degradação ecológica do Antropoceno exige estratégias de restauração fundamentadas na ciência, tecnologia e ética. A Restauração Ecológica Inteligente (REI) é considerada uma abordagem avançada de restauração que utiliza inteligência artificial, análise preditiva e biotecnologia, juntamente com o conhecimento ecológico nativo e a gestão socioambiental. Este artigo investiga como essas tecnologias podem contribuir para uma reconciliação significativa entre a sociedade e os ecossistemas florestais degradados e discute os riscos, as limitações e os aspectos bioéticos dos modelos. A análise sugere que a IA melhora a precisão e a escala das intervenções aplicadas, otimiza a alocação de recursos e fortalece a capacidade de adaptação em resposta às perturbações climáticas. Simultaneamente, a biotecnologia ambiental busca acelerar a recuperação do solo e das plantas por meio de microrganismos, bioestimulantes e técnicas genéticas voltadas para a resiliência biológica. No entanto, esses avanços também levantam preocupações éticas em relação à manipulação de espécies, à dependência tecnológica e ao potencial de homogeneização genética. É necessário enfatizar a importância de estruturas de governança inclusivas e participativas, baseadas nos princípios da justiça, equidade e responsabilidade intergeracional. O estudo postula que a restauração ecologicamente correta (RES) só pode ser legítima e sustentável quando implementada dentro de uma estrutura bioética e legal que limite a intervenção excessiva, priorize a recuperação passiva sempre

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

que possível e adote tecnologias que promovam o florescimento do ecossistema. Assim, restaurar e reconciliar ecossistemas torna-se um projeto civilizacional que dá expressão à ciência, à ética e à governança para restaurar a vida na terra.

**Palavras-chave:** restauração ecologicamente correta; biotecnologia ambiental; inteligência artificial; bioética ambiental; resiliência de ecossistemas.

### Introducción

El impacto humano ha afectado significativamente los entornos terrestres y es hora de justificar una nueva época geológica: el Antropoceno. Este período representa un deterioro ecológico sin precedentes, junto con la pérdida de hábitats, la fragmentación de hábitats, la pérdida de biodiversidad y la pérdida catastrófica de funciones básicas del ecosistema. A la luz de esto, surge un imperativo de restauración que requiere acciones urgentes basadas en la ética y la ciencia para restaurar la resiliencia y la función en los ecosistemas degradados (Schmidt, 2023; Hankins, 2024).

La restauración ecológica (RE) se ha integrado en un eje estratégico global y es crucial para la supervivencia de la vida humana y los sistemas mundiales estables. Este consenso internacional se manifiesta a través de programas como la Década de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021–2030), que enmarca la prevención, cese y reversión de la degradación como responsabilidad colectiva del gobierno, las comunidades, el sector productivo y las partes interesadas (Gutberlet et al., 2021; Lee, 2025).

La RE tiene un valor intrínseco relacionado con la integridad del ecosistema, al tiempo que actúa como un medio para mejorar los medios de vida, aliviar la amenaza de desastres, disminuir las zoonosis y también avanzar en la agenda global de los ODS (Rodríguez, 2024; Suriyankietkaew et al., 2025).

En este contexto, se introduce la Restauración Ecológica Inteligente (REI) en este documento junto con la posibilidad de utilizarla como un marco ético para reconciliar la sociedad con los ecosistemas forestales degradados. La razón principal es que las tecnologías, incluidas la biotecnología, los análisis y la IA, tienen el potencial de proporcionar la precisión, velocidad y escala necesarias para abordar la complejidad de la restauración, pero que estas herramientas solo pueden ser legítimas cuando se utilizan en un contexto bioético que reconozca la integridad ecológica, minimice la manipulación innecesaria y los límites ontológicos de la intervención tecnológica (Azevedo & Magalhães-Sant’Ana, 2025; Kasprzycka et al., 2023).

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

La RE difiere de prácticas menos ambiciosas, como la revegetación o la reconstrucción simplificada, al apuntar a la restauración de la función ecológica y la resiliencia a través de especies nativas de alta diversidad y una investigación cercana de las barreras bióticas y abióticas. De esta manera, se evalúa el potencial de autocuración del ecosistema, lo que permite la selección de acciones rentables y ecológicamente apropiadas (Burt et al., 2024).

El segmento "inteligente" se basa en el uso de IA, sensores remotos, big data y modelos predictivos para mejorar los procesos de monitoreo, la toma de decisiones y el diseño de soluciones basadas en la naturaleza (Nath, 2024; Afridi et al., 2024). La complejidad de la REI en sí misma requiere una fuerte cooperación interdisciplinaria. El Ingeniero Ambiental ofrece una visión a nivel de sistema de los impactos antropogénicos y participa en la modelización predictiva para apoyar los procesos de planificación regional/territorial (Liem & Hien, 2024).

El Ingeniero Forestal aporta experiencia ecológica nativa, ética de gestión sostenible y experiencia en la transferencia de prácticas silviculturales, ecológicas y genéticas a diferentes bosques (Svitlichna et al., 2024).

La Biotecnología Ambiental ofrece herramientas para mejorar las capacidades de recuperación de los ecosistemas mediante microorganismos, bioinsumos, mejoras genéticas y métodos regenerativos, que ayudan a mejorar la velocidad de los procesos bióticos esenciales (Rollo, 2025). Es a través de la fusión de estos campos que la Ingeniería de Ecosistemas se consolida como un enfoque integrado en la percepción de los ecosistemas como sistemas vivos, relacionales e interdependientes, y en fomentar intervenciones responsables centradas en territorios sostenibles y resilientes (Rezapouraghdam et al., 2025; Teo, 2023).

El objetivo de este documento es explorar cómo la biotecnología y la IA, integradas en la Restauración Ecológica Inteligente, pueden beneficiar nuestra restauración de la reconciliación humana con los bosques degradados, sus beneficios, aspectos éticos y límites bioéticos, para tener intervenciones genuinamente sostenibles y responsables.

### Desarrollo

**La Restauración Inteligente se trata de la arquitectura que creas: precisión, planificación y escala**

La restauración ecológica inteligente se implementa basándose en tecnologías avanzadas que procesan grandes cantidades de datos para identificar patrones ecológicos que pasan desapercibidos

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

para los humanos y para tomar decisiones optimizadas en escenarios ambientales difíciles (Afridi et al., 2024; Nath, 2024).

La IER no es un sustituto del juicio científico, sino que mejora la destreza analítica de los equipos interdisciplinarios para ayudar a coordinar las intervenciones de restauración con precisión, eficiencia y escalabilidad.

### **Planificación Predictiva con Apoyo de IA en Ingeniería Ambiental**

La Inteligencia Artificial (IA) es una herramienta crucial para una gestión preparada para el futuro de los problemas ambientales. Es una parte integral de la IER porque optimiza la asignación de recursos, minimiza las pérdidas, aumenta la eficiencia logística y mejora la gobernanza para sistemas territoriales complejos (Liem & Hien, 2024; Lee, 2025).

Dentro del contexto ecológico, la IA se utiliza para el monitoreo de la biodiversidad, la identificación de áreas críticas, la predicción de eventos de degradación y la optimización de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS), acelerando la precisión y escalabilidad de las acciones de restauración (Nath, 2024).

Un ejemplo de un enfoque paradigmático de planificación predictiva se encuentra en el marco desarrollado por Yin et al. (2021), que utiliza redes neuronales dinámicas, inferencia bayesiana y algoritmos genéticos para modelar el uso del agua y los procesos ambientales a escala de paisaje. Su enfoque incluye el diseño de Configuraciones de Retiro Biológico (BRCs), clasificando fuentes ecológicas mediante modelos bayesianos, definiendo corredores funcionales utilizando el modelo de Resistencia Colectiva Mínima y la teoría de circuitos.

El diseño final del sistema incorpora siete criterios ambientales y treinta y cinco áreas de política ecológica para mostrar sistemáticamente, en sus diversas formas, que las áreas sensibles están situadas en la región de interfaz entre regiones boscosas y espacios de expansión territorial urbana. Se está creando una dimensión de gobernanza algorítmica que hace que los buenos resultados dependan de los modelos y puede asegurar que la ingeniería ambiental sea capaz de convertir objetivos y requisitos regulatorios en los parámetros operativos de los algoritmos (Schmidt, 2023).

La IER, por lo tanto, no es solo un ejercicio técnico, sino una práctica conceptualizada (o deliberativa) que integra política pública, ecología, tecnología e innovación tecnológica para efectuar decisiones localizadas y éticamente sólidas.

---

### **Ingeniería forestal y pensamiento ecológico indígena**

El Ingeniero Forestal es el centro ecológico de la IER. El enfoque en la biodiversidad y la ecología forestal, la anatomía de las plantas, la dinámica de los ecosistemas y la mejora genética en su formación significa que todas las intervenciones pueden estar seguras de la coherencia con los procesos ecológicos naturales y los requisitos de las especies nativas (Svitlichna et al., 2024).

El ingeniero forestal, desde un punto de vista ético, encarna el imperativo de ser el guardián del territorio, ayudando a fomentar una gestión forestal racional, socialmente responsable y ecológicamente sólida a lo largo del tiempo (Rollo, 2025).

Esta comprensión contextual es integral para la aplicación de estándares internacionales de restauración y conservación donde queda claro que si va a haber un proyecto de RE (y hay muchos) que pueda necesitar mayor diversidad, especialmente en términos de sus especies nativas, debe alejarse de procesos más laxos como la simple plantación o la rehabilitación superficial (Burt et al., 2024).

El ingeniero forestal debe decidir cuáles de las especies propagar, cómo y bajo qué condiciones se recomienda su establecimiento, para que la tecnología no reemplace a la ecología, sino que la complemente. Además, la Ingeniería Forestal tiene una contribución estratégica a la resiliencia climática. Proporciona orientación para la gestión forestal inteligente frente al clima para preservar los ecosistemas y mejorar la captura de carbono mientras apoya la biodiversidad funcional y minimiza los riesgos de incendios y especies invasoras (Rezapouraghdam et al., 2025).

La sinergia con la IA no conduce a una uniformidad panogrativa. De hecho, el ingeniero forestal sirve para contrarrestar la posible "generalización algorítmica", evitando que las decisiones optimizadas a través de modelos de ML no se adapten a las singularidades dadas por el ecosistema local, evitando así intervenciones tecnológicamente elegantes que no tienen en cuenta los ecosistemas (Teo, 2023).

### **Revitalización del Suelo y las Plantas: El Poder de la Biotecnología**

La biotecnología ambiental ha surgido como un pilar de la Restauración Ecológica Inteligente (IER), proporcionando dispositivos biológicos que podrían acelerar los esfuerzos de regeneración que de otro modo tomarían décadas antes de reactivarse como sistemas monolíticos. Su estrategia se basa en microorganismos, plantas y sistemas biológicos para superar barreras bióticas y abióticas en la recuperación de ecosistemas forestales naturales (Burt et al., 2024; Svitlichna et al., 2024).



## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

En medio de la descomposición intensificada, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, esta tecnología está emergiendo como un puente necesario y de alta velocidad entre la urgente necesidad de restauración ecológica y las imperativas temporales del Antropoceno.

### **Microorganismo, Bioestimulante, Reconstrucción del Suelo**

La restauración profunda comienza desde el suelo. La revitalización del suelo es la condición previa para la recuperación de los ciclos biogeoquímicos que resultan en una estructura del suelo que es propicia para el establecimiento de especies nativas de plantas. Los hongos micorrízicos y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) se encuentran entre las herramientas biotecnológicas más importantes disponibles, y los estudios han demostrado que su capacidad para sobrevivir y crecer en ambientes severamente degradados es significativa (Nath, 2024).

Las micorrizas contribuyen en gran medida a la colonización de ambientes terrestres, la absorción de nutrientes, la estructura del suelo y la supervivencia de los árboles durante los procesos de reforestación (Rollo, 2025).

En regiones caracterizadas por la desertificación, la pérdida de biodiversidad o la erosión extrema, los inoculantes micorrízicos pueden promover el crecimiento de especies como *Pinus halepensis* en áreas bajo estrés hídrico. Las PGPR y los hongos micorrízicos en una combinación química como catalizador biológico podrían reactivar procesos simbióticos cruciales, lo que hace que las plantas sean biológica y bioquímicamente más resistentes a la interferencia externa.

Al mismo tiempo, los bioestimulantes como los aminoácidos, los ácidos húmicos y fúlvicos mejoran la osmorregulación y mejoran la retención de agua en el suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes, resultando en un suelo más fértil y más resistente. La importancia de la biorestauración es su capacidad para recuperar la "lógica interna" del subsuelo: reclamar la actividad microbiana, fomentar la simbiosis entre organismos y renovar los procesos ecológicos que mantienen el proceso normal de regeneración. Con la crisis climática y la rápida propagación de plagas volviéndose más importantes, la biotecnología forestal es una herramienta vital para restablecer procesos ecosistémicos vitales (Schmidt, 2023).

Casos como el barrenador esmeraldas del fresno nos muestran la velocidad a la que una especie de árbol puede desaparecer y al mismo tiempo poner en peligro todo el ecosistema que la rodea. Se está logrando una mejora genética más tradicional: se ha desarrollado resistencia al óxido vesicular del pino en especies susceptibles. La magnitud y el ritmo de las amenazas actuales dejan claro que se deben utilizar métodos biotecnológicos más avanzados para acelerar la adaptación genética y la



## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

supervivencia a largo plazo de las especies endémicas amenazadas por la amenaza (Azevedo & Magalhães-Sant'Ana, 2025).

Ahora el dilema ético central es: ¿Está la biotecnología "devolviendo" la funcionalidad perdida o creando nuevas dependencias biológicas que hacen que la naturaleza sea subordinada a la creación humana? La IER debe responder a este dilema con la bioética en su núcleo: no tomar la restauración como el ejercicio de reemplazar la tecnología, sino equilibrarla con la naturaleza.

### **Y la pregunta filosófica: ¿Reparar la naturaleza o entenderla?**

#### **Una búsqueda de la "lógica interna" de los ecosistemas**

En la raíz del argumento filosófico sobre cómo debe llevarse a cabo la restauración se encuentra una verdad simple, a saber, que ninguna comunidad en la Tierra es inmune a los humanos (Teo, 2023).

En consecuencia, definir un "estado natural" de referencia es complicado y no solo depende de criterios ecológicos, sino también de valores sociales. La restauración va más allá de simplemente reparar el daño y se esfuerza por reconstruir una ecuación moral entre la sociedad y los ecosistemas y ver la ecología como un actor guía en el uso del suelo (Baker et al., 2023).

A través de un metaanálisis de 400 estudios de recuperación post-disturbio, se pueden obtener importantes conocimientos; dicha restauración activa no necesariamente acelera la recuperación tan rápido como si simplemente detuviéramos el disturbio. Esto se alinea con el Principio de Humildad Ecológica, sugiriendo que este segundo paso debería basarse en la recuperación pasiva, tomando acción solo cuando existen barreras para la regeneración natural (Schmidt, 2023).

El arsenal de tecnologías de precisión de REI necesita ser aprovechado, ya que la acción efectiva no siempre está fuera del alcance de la capacidad inherente de autocuración de un ecosistema. La ética ambiental demuestra que las sociedades humanas tienen obligaciones morales con la naturaleza, especialmente después de la acumulación de deuda ecológica (Lee, 2025).

La biorestauración puede entenderse como un "pago" por esa deuda en la recuperación de funciones perdidas del ecosistema. La manipulación genética se utiliza en sistemas biotecnológicos complejos, que tienen el potencial de reemplazar procesos naturales con artefactos humanos, profundizando las relaciones basadas en el control sobre la reconciliación.

#### **La amenaza de la dependencia tecnológica y la inequidad**

La dependencia de cepas microbianas homogéneas, material genético estandarizado o sistemas de rehabilitación de última generación podría resultar en una simplificación genética peligrosa, quizás

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

uno de los riesgos más serios para la resiliencia de las poblaciones humanas del mañana (Afridi et al., 2024).

Los proyectos biotecnológicos también pueden intensificar las desigualdades desde la perspectiva de la justicia ambiental cuando su utilización se concentra en actores económicamente o políticamente privilegiados (Rezapouraghdam et al., 2025).

Por lo tanto, las regulaciones para la gobernanza de REI, como la transparencia, la justicia distributiva y la participación comunitaria, son esenciales para promover la ingeniería aplicada como el fundamento de los principios éticos de equidad y sostenibilidad (Gutberlet et al., 2021; Suriyankietkaew et al., 2025).

### **Reconciliación: Restauración Inteligente, Resiliencia y Gobernanza**

#### **Herramientas de Restauración hacia la Resiliencia Social y Ecosistémica**

La Restauración Ecológica Inteligente (REI) es un enfoque de vanguardia para la adaptación climática, una aplicación diseñada para mejorar simultáneamente la resiliencia de los sistemas humanos y naturales. Desde el punto de vista forestal, la planificación forestal inteligente para el clima para apoyar bosques de funcionamiento saludable que puedan capturar aún más carbono se considera un mecanismo de protección esencial contra escenarios climáticos futuros de ritmo rápido (Svitlichna et al., 2024; Burt et al., 2024).

La lógica de resiliencia que está incrustada en REI tiene una resonancia similar en otras tecnologías. En la industria energética, por ejemplo, los dispositivos inteligentes y los medidores inteligentes facilitan la capacidad de respuesta rápida y eficiente a tormentas o interrupciones importantes, y esto aumenta la capacidad adaptativa de las comunidades (Liem & Hien, 2024).

REI lleva esta filosofía más allá y proporciona a los ecosistemas una "respuesta inteligente", seleccionando genotipos sólidos, mejorando la salud del suelo y monitoreando continuamente con capacidad de IA para predecir disturbios (Lee, 2025). La evaluación en tiempo real del éxito de las intervenciones de restauración debe lograrse a través de la gestión adaptativa guiada por datos, modelos predictivos y retroalimentación inmediata, y, cuando eso se hace, las estrategias de restauración pueden adaptarse, lograrse un impacto positivo y continuar la restauración ecológica a largo plazo (Rezapouraghdam et al., 2025).

---

## Regulación y una Nueva Definición de la Relación Sociedad-Ecosistema

La restauración ecológica no se limita al ámbito técnico: requiere un gobierno que administre concesiones, responsabilidades y expectativas de manera justa. REI es costoso y las tecnologías complejas y su aplicación no deben agravar la división social ni alienar a comunidades ya marginadas, particularmente aquellas que dependen en gran medida de la salud del ecosistema (Gutberlet et al., 2021).

La Década de las Naciones Unidas para la Restauración de Ecosistemas (2021–2030) promueve la necesidad de una participación a gran escala y multisectorial que replique prácticas exitosas y promueva el establecimiento de marcos legislativos y regulatorios cohesivos (Lee, 2025; Suriyankietkaew et al., 2025).

La restauración solo funcionará y será justa si los científicos, profesionales y comunidades locales actúan como co-diseñadores de las soluciones, asegurando que estas sean ecológicamente viables, económicamente asequibles y socialmente legitimadas. Esta apertura participativa también confirma la autoridad de la ecología como una disciplina autorizada de política pública y se alinea con los debates actuales que buscan establecer que la disciplina en la sociedad debe ocupar un nuevo lugar en la cima como una ciencia subyacente a la sostenibilidad planetaria (Baker et al., 2023; Schmidt, 2023).

### Marcos bioéticos y legales: la necesidad

Desarrollar la Restauración Ecológica Inteligente (IER) requiere una arquitectura de bio-gobernanza que pueda equilibrar la innovación técnica y proteger la dignidad inherente del paisaje natural. Aunque documentos como la Declaración de Principios Éticos en Relación con el Cambio Climático de la UNESCO (2017) proporcionan directrices éticas, enfatizan principios de responsabilidad intergeneracional, justicia, solidaridad y precaución (Lee, 2025).

La biotecnología forestal, caracterizada por la manipulación genética o la propagación controlada de microorganismos y bioinsumos, necesita ser gobernada específicamente para evitar el abuso de poder y la discriminación inherente al control biológico o genético (Rezapouraghdam et al., 2025; Azevedo & Magalhães-Sant’Ana, 2025).

El uso ético, transparente y responsable de todas estas tecnologías requerirá que juristas, filósofos ambientales y autoridades regulatorias se unan para formular reglas claras, dijeron. La reconciliación entre la sociedad y el ecosistema sigue siendo un sueño largamente acariciado. Pero solo se realizará cuando la tecnología, incluida la IA y la biotecnología, se convierta en una herramienta de progreso

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

que mejore la vida, no en una herramienta de dominio, enraizada en un trato justo o equitativo y en la co-responsabilidad sostenible.

### Conclusiones

La Restauración Ecológica Inteligente (IER) representa una forma estratégica imperativa de abordar la escala de degradación ambiental en la era del Antropoceno. Su mérito se basa en la unión de tecnología de vanguardia, desde la IA, análisis predictivo y biotecnología hasta los bloques de construcción ecológicos, sociales y éticos de la recuperación del ecosistema.

Este artículo ilustra que la restauración no es solo un proceso técnico, sino un proceso transformador de profunda reconciliación dentro de la sociedad con la naturaleza, donde la ciencia y la ética existen indivisibles. En primer lugar, la IER lleva las complejidades ecológicas más allá de la mera gestión convencional. Su marco algorítmico mejora la focalización de áreas estratégicas, mejora la eficacia de las intervenciones; y proporciona soporte de decisión en tiempo real para mejorar la efectividad y escala de las soluciones de recuperación. Pero tal precisión tecnológica solo es realista cuando se combina con el conocimiento ecológico indígena del sistema forestal y de ingeniería ambiental.

La biotecnología ambiental es una fuerza impulsora para rejuvenecer suelos, restaurar mecanismos simbióticos y aumentar la resiliencia de especies amenazadas en riesgo debido a la aceleración climática y amenazas biológicas. No obstante, la aplicación plantea serias preocupaciones éticas derivadas de la manipulación genética, la dependencia de la tecnología y la amenaza de simplificar la diversidad biológica. Requiere paradigmas bioéticos que moderen el exceso y orienten la innovación hacia el fortalecimiento de la vida en lugar de la estandarización.

Finalmente, la IER de manera verdaderamente legítima y sostenible solo debe ocurrir en un entorno donde la equidad social, la transparencia pública, la participación comunitaria y la justicia ecológica prevalezcan como características centrales de la gobernanza organizacional.

La restauración no debe ser un dispositivo excluyente o concentrador de poder, sino un esfuerzo colaborativo en el que la ciencia y la comunidad y los decisores establezcan soluciones mutuas basadas en el respeto mutuo y el bien común. Por último, reconciliar la sociedad y el ecosistema significa ir más allá de una imagen antropocéntrica de control total hacia un paradigma de humildad ecológica y responsabilidad intergeneracional.

La IER es más profunda cuando no se dirige a dominar la naturaleza, sino a comprender, asociarse con ella y rehabilitar su capacidad de producción para vivir. Entonces, la restauración ecológica deja

## Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

de ser meramente una reparación técnica y se convierte en un modo de regeneración ético, territorial y civilizacional.

### Referencias

1. Afridi, S. K., Koondhar, M. A., Jamali, M. I., Alaas, Z. M., Alsharif, M. H., Kim, M. K., ... & Ahmed, M. M. R. (2024). Winds of progress: an in-depth exploration of offshore, floating, and onshore wind turbines as cornerstones for sustainable energy generation and environmental stewardship. *Ieee Access*, 12, 66147-66166.
2. Azevedo, A., & Magalhães-Sant'Ana, M. (2025). Reviving the Dire Wolf? A Case Study in Welfare Ethics, Legal Gaps, and Ontological Ambiguity. *Animals*, 15(13), 1839. <https://doi.org/10.3390/ani15131839>
3. Baker, B., Saari, A., Wang, L., & Tavares, H. (Eds.). (2023). *Flashpoint Epistemology Volume 1: Arts and Humanities-Based Rethinkings of Interconnection, Technologies, and Education*. Taylor & Francis.
4. Burt, J.A. et al. (2024). The Emirates at 2050: Balancing Development and Environmental Stewardship. In: Burt, J.A. (eds) *A Natural History of the Emirates*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37397-8\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37397-8_24)
5. D.L. Hankins, Climate resilience through ecocultural stewardship, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 121 (32) e2310072121, <https://doi.org/10.1073/pnas.2310072121> (2024).
6. Gutberlet, J., Sorroche, S., Martins Baeder, A., Zapata, P., & Zapata Campos, M. J. (2021). Waste Pickers and Their Practices of Insurgency and Environmental Stewardship. *The Journal of Environment & Development*, 30(4), 369-394. <https://doi.org/10.1177/10704965211055328> (Original work published 2021)
7. Kasprzycka, E., Wrigley, C., Searle, A. & Twine, R., (2023) "Rhetorics of Species Revivalism and Biotechnology – A Roundtable Dialogue", *Animal Studies Journal* 12(2), 190-219. doi: <https://doi.org/10.14453/asj/v12i2.9>
8. Lee, Y.-G. (2025). Integrating Circular Economy and Laudato Si': A Christian Framework for Sustainable Development and Environmental Stewardship. *Religions*, 16(3), 326. <https://doi.org/10.3390/re16030326>

Restauración ecológica inteligente y el imperativo bioético: reconciliación humana con bosques degradados a través de la biotecnología

9. Liem VT, Hien NN (2024) Customer pressure and environmental stewardship: The moderator role of perceived benefit by managers. PLOS ONE 19(7): e0306616. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306616>
10. Nath, S. (2024). A vision of precision agriculture: Balance between agricultural sustainability and environmental stewardship. Agronomy Journal, 116, 1126–1143. <https://doi.org/10.1002/agj2.21405>
11. Rezapouraghdam, H., Akhshik, A., Strzelecka, M., Roudi, S., & Ramkissoo, H. (2025). Fascination, Place Attachment, and Environmental Stewardship in Cultural Tourism Destinations. Tourism Recreation Research, 50(7), 1577–1593. <https://doi.org/10.1080/02508281.2024.2434793>
12. Rodriguez, J. (2024). One Health Ethics and the Ethics of Zoonoses: A Silent Call for Global Action. Veterinary Sciences, 11(9), 394. <https://doi.org/10.3390/vetsci11090394>
13. Rollo, M. F. (2025). Interconnected Nature and People: Biosphere Reserves and the Power of Memory and Oral Histories as Biocultural Heritage for a Sustainable Future. Sustainability, 17(9), 4030. <https://doi.org/10.3390/su17094030>
14. Schmidt JJ. Earth stewardship, water resilience, and ethics in the Anthropocene. Global Sustainability. 2023;6:e15. doi:10.1017/sus.2023.13
15. Suriyankietkaew, S., Krittayaruangroj, K., Thinthan, S., & Lumlongrut, S. (2025). Creative tourism as a driver for sustainable development: A model for advancing SDGs through community-based tourism and environmental stewardship. Environmental and Sustainability Indicators, 100828.
16. Svitlichna, V., Tonkoshkur, M., Cirella, G.T., Radionova, L., Yatsiuk, M., Uhodnikova, O. (2024). Sustainable Ecotourism Development: Integrating Public Marketing, Community Engagement, and Environmental Stewardship in Ukraine. In: Cirella, G.T. (eds) Handbook on Post-War Reconstruction and Development Economics of Ukraine. Contributions to Economics. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-48735-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-48735-4_16)
17. Teo, V. (2023). Human-Animal Interactions in Anthropocene Asia. Taylor & Francis Group.