

Uso de inteligencia artificial para la identificación de especies forestales a través de imágenes satelitales

Use of artificial intelligence for the identification of forest species through satellite images.

Cabrera-Verdesoto, Cesar Alberto ^{1*}; Arellano-Reinoso, Katheryn Gabriela ²; Ureta-Leones, Diego Armando ³

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Manabí; <https://orcid.org/0000-0001-5101-3520>, cesar.cabrera@unesum.edu.ec

² Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, Puyo; <https://orcid.org/0009-0003-6162-4458>, kg.arellanor@uea.edu.ec

³ Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, Puyo; <https://orcid.org/0000-0003-1036-7642>, da.uretal@uea.edu.ec

* Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n1/29>

Cita: Cabrera-Verdesoto, C. A., Arellano-Reinoso, K. G., & Ureta-Leones, D. A. (2024). Uso de inteligencia artificial para la identificación de especies forestales a través de imágenes satelitales. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(1), 26-38. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n1/29>

Recibido: 07/01/2024

Revisado: 12/01/2024

Aceptado: 17/01/2024

Publicado: 13/02/2024



Copyright: © 2024 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: La inteligencia artificial (IA) y las imágenes satelitales están transformando la gestión forestal al mejorar la identificación y monitoreo de especies, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de los ecosistemas. Este estudio explora las aplicaciones, beneficios y desafíos de estas tecnologías, utilizando una metodología de revisión documental basada en literatura reciente, con énfasis en casos prácticos y hallazgos relevantes. Los resultados evidencian que la IA permite optimizar la clasificación de especies mediante algoritmos avanzados, generar mapas de distribución en áreas remotas y monitorear cambios en la biodiversidad con precisión mejorada, complementando su implementación con drones. Además, las tecnologías integradas reducen costos operativos, aumentan la cobertura espacial y proporcionan información en tiempo real, facilitando decisiones estratégicas. Sin embargo, se enfrentan limitaciones como el acceso restringido a datos de alta resolución, la insuficiencia de conjuntos de datos representativos, la falta de personal capacitado y riesgos asociados a la dependencia tecnológica. La discusión resalta la necesidad de superar estos desafíos mediante colaboración internacional, políticas inclusivas y capacitación especializada, garantizando un equilibrio entre innovación tecnológica y sostenibilidad. Concluimos que estas herramientas emergentes tienen un potencial significativo, pero requieren esfuerzos integrales para maximizar su impacto en la conservación forestal.

Palabras clave: inteligencia artificial; imágenes satelitales; gestión forestal; conservación de biodiversidad; sostenibilidad.

Abstract: Artificial intelligence (AI) and satellite imagery are transforming forest management by improving species identification and monitoring, contributing to biodiversity conservation and sustainable ecosystem management. This study explores the applications, benefits and challenges of these technologies, using a document review methodology based on recent literature, with emphasis on case studies and relevant findings. The results show that AI allows optimizing species classification through advanced algorithms, generating distribution maps in remote areas and monitoring changes in biodiversity with improved accuracy, complementing its implementation with drones. In addition, integrated technologies reduce operating costs, increase spatial coverage and provide real-time information, facilitating strategic decisions. However, limitations are faced such as restricted access to high resolution data, insufficient representative datasets, lack of trained personnel and risks associated with technology dependence. The discussion highlights the need to overcome these challenges through international collaboration, inclusive policies and specialized training, ensuring a balance between technological innovation and sustainability. We conclude that these emerging tools have significant potential, but require comprehensive efforts to maximize their impact on forest conservation.

Keywords: artificial intelligence; satellite imagery; forest management; biodiversity conservation; sustainability.

1. Introducción

La identificación precisa de especies forestales es esencial para la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. Tradicionalmente, este proceso ha dependido de métodos manuales que requieren tiempo y recursos considerables. Sin embargo, el avance de la inteligencia artificial (IA) y su integración con imágenes satelitales han abierto nuevas posibilidades para mejorar la precisión y eficiencia en la identificación de especies forestales (Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. 2023).

La creciente deforestación y degradación de los ecosistemas forestales representan amenazas significativas para la biodiversidad global. La identificación y monitoreo efectivos de las especies forestales son fundamentales para implementar estrategias de conservación adecuadas. Sin embargo, los métodos tradicionales de identificación, basados en trabajo de campo intensivo, presentan limitaciones considerables en cuanto a cobertura espacial y temporal. Asimismo, la inaccesibilidad de ciertas áreas y la escasez de recursos humanos capacitados agravan el problema, dificultando la obtención de datos actualizados y precisos sobre la distribución de especies (Corporación Nacional Forestal, 2023).

La implementación de técnicas de IA combinadas con imágenes satelitales ofrece una solución innovadora y eficiente. Estas herramientas tecnológicas permiten el análisis automatizado de grandes volúmenes de datos, posibilitando la identificación de especies forestales de manera más rápida y precisa. Por ejemplo, la metodología Netflora, desarrollada por Embrapa, utiliza algoritmos avanzados de IA para reconocer especies forestales de valor comercial con una precisión del 95%. Este enfoque no solo reduce significativamente los costos operativos, sino que también contribuye a una gestión más sostenible de los recursos forestales (Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. 2023).

La justificación para adoptar estas tecnologías radica en su capacidad para superar las limitaciones de los métodos tradicionales. Las soluciones basadas en IA procesan datos en tiempo real y generan información útil para la toma de decisiones informadas. Además, las imágenes satelitales proporcionan una cobertura amplia, incluso en áreas de difícil acceso, lo que facilita el monitoreo de los recursos forestales a gran escala. La viabilidad de esta estrategia se ve reforzada por los avances constantes en el desarrollo de algoritmos de aprendizaje profundo y la creciente disponibilidad de imágenes de alta resolución, lo que mejora su eficacia y accesibilidad (Fundación Biodiversidad, 2020).

El objetivo de este artículo es revisar y analizar el uso de la inteligencia artificial en la identificación de especies forestales a través de imágenes satelitales, evaluando su eficacia, aplicaciones actuales y potencial futuro en la gestión y conservación de los recursos forestales. Se revisarán estudios recientes que

evidencian la utilidad de estas tecnologías en diversos contextos. Por ejemplo, la Corporación Nacional Forestal (2023) documentó la implementación de sistemas de fotomonitorio basados en IA para identificar especies en áreas silvestres protegidas mediante cámaras trampa, lo que ha facilitado el seguimiento de la biodiversidad en zonas remotas. Asimismo, investigaciones como la de la Universidad de Huelva (2020) han desarrollado sistemas automáticos de censo y seguimiento de biodiversidad utilizando técnicas de aprendizaje profundo, demostrando su aplicabilidad para la monitorización sistemática de especies en bosques.

La integración de la inteligencia artificial y las imágenes satelitales representa un avance significativo en la identificación y monitoreo de especies forestales. Estas tecnologías emergentes ofrecen soluciones más eficientes y precisas que los métodos tradicionales, contribuyendo no solo a la conservación de la biodiversidad, sino también a la gestión sostenible de los bosques. La revisión de estos enfoques permitirá identificar fortalezas y áreas de mejora en su implementación, garantizando un futuro más sostenible para los ecosistemas forestales (Kentsch., et al 2020).

2. Materiales y Métodos

La metodología utilizada en este estudio se fundamenta en un enfoque exploratorio basado en la revisión documental de fuentes científicas y técnicas. Este diseño se seleccionó debido a su idoneidad para analizar, interpretar y sintetizar información proveniente de estudios previos relacionados con la aplicación de inteligencia artificial y el uso de imágenes satelitales en la identificación de especies forestales. El enfoque exploratorio permite comprender de manera integral las tendencias, los avances tecnológicos y las limitaciones en el uso de estas herramientas dentro del ámbito forestal, con el propósito de identificar las principales áreas de oportunidad y mejora en este campo de estudio.

El proceso de recolección de datos consistió en la búsqueda exhaustiva de literatura académica y técnica en bases de datos especializadas, incluyendo artículos científicos, reportes técnicos y documentos institucionales. Los criterios de inclusión para seleccionar los documentos revisados se basaron en su relevancia temática, actualidad, rigor metodológico y accesibilidad. Se priorizaron fuentes publicadas en los últimos cinco años para garantizar que los hallazgos sean pertinentes al estado actual del conocimiento en el área de estudio.

El análisis de la información recopilada se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático que involucró la identificación de patrones, tendencias y hallazgos relevantes dentro de los estudios seleccionados. Esta metodología permitió estructurar el contenido del artículo en torno a las aplicaciones específicas de la

inteligencia artificial, los beneficios derivados de su integración con imágenes satelitales, y los desafíos identificados por los investigadores en este ámbito. Además, se realizó una síntesis crítica de los datos obtenidos, con el objetivo de ofrecer una visión consolidada y fundamentada sobre el tema.

El diseño metodológico también contempló la revisión de estudios de caso documentados que ilustraran aplicaciones prácticas y resultados obtenidos en contextos forestales diversos. Este procedimiento contribuyó a una comprensión más detallada de las implicaciones técnicas y prácticas de la tecnología, facilitando la identificación de oportunidades de implementación y escalabilidad en diferentes escenarios. Por último, los resultados del análisis fueron organizados en función de los objetivos planteados, garantizando una presentación coherente y comprensible de los hallazgos.

3. Resultados

3.1. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la identificación de especies forestales

El empleo de inteligencia artificial (IA) en la identificación de especies forestales ha emergido como una herramienta clave para enfrentar los retos de conservación de la biodiversidad y el monitoreo de recursos naturales. Este enfoque combina algoritmos avanzados de aprendizaje automático y técnicas de visión artificial para optimizar procesos de análisis, facilitando tareas como el reconocimiento automático de patrones, la elaboración de mapas de distribución y el monitoreo de cambios en los ecosistemas.

Una de las aplicaciones más relevantes es el reconocimiento automático de patrones en imágenes satelitales para clasificar especies forestales. Esta técnica permite identificar características únicas de las especies vegetales al analizar grandes volúmenes de datos provenientes de imágenes satelitales. En un estudio realizado por Mata-Montero et al. (2020), se implementaron algoritmos de visión artificial para reconocer especies maderables amenazadas en Costa Rica, logrando una precisión significativamente mayor en comparación con los métodos tradicionales de campo. La capacidad de estos algoritmos para procesar y aprender de bases de datos robustas ha revolucionado la gestión forestal, al hacer posible la identificación precisa de especies clave sin la necesidad de una intervención humana intensiva. Este enfoque es especialmente útil en países donde la presión sobre las especies maderables amenaza la sostenibilidad de los ecosistemas (Puerta Tuesta., et al 2023).

Otro avance significativo es la generación de mapas de distribución de especies forestales en áreas de difícil acceso, un recurso valioso para gestionar regiones remotas o peligrosas. Las técnicas basadas en inteligencia artificial han permitido interpretar imágenes satelitales y datos remotos con un nivel de detalle

que antes era inalcanzable. Según Zhang y Wang (2020), el uso de modelos de aprendizaje profundo ha demostrado ser altamente eficaz para crear mapas precisos que no solo reflejan la ubicación de las especies forestales, sino también las dinámicas espaciales y temporales de sus hábitats. Estas capacidades han permitido a los investigadores y gestores forestales anticipar riesgos asociados con la deforestación y diseñar estrategias de manejo adaptativas, incluso en regiones con acceso limitado o nulo.

El monitoreo de cambios en la biodiversidad forestal mediante modelos de aprendizaje profundo representa otra dimensión crucial en la aplicación de IA. Estos modelos permiten identificar alteraciones en la composición y estructura de los ecosistemas forestales a lo largo del tiempo, una tarea que resulta esencial para evaluar el impacto de actividades humanas y fenómenos climáticos sobre los bosques. Zhang y Wang (2020) destacaron cómo los algoritmos de aprendizaje profundo pueden ser entrenados para diferenciar patrones de biodiversidad en imágenes capturadas en diferentes periodos, identificando tanto los cambios graduales como los repentinos. Esto resulta particularmente útil para identificar áreas críticas donde la biodiversidad está en declive, facilitando la implementación de intervenciones tempranas y efectivas.

Por último, el uso de drones complementado con IA para aumentar la precisión en la identificación local ha transformado la manera en que los investigadores recolectan datos en el campo. Los drones, equipados con cámaras de alta resolución y algoritmos de aprendizaje automático, han permitido un nivel de detalle sin precedentes en la recolección de datos a nivel local. Anderson y Gaston (2013) señalaron que el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados ha democratizado el acceso a herramientas avanzadas para el monitoreo ambiental, haciendo posible la recopilación de información en regiones remotas con costos operativos mucho menores. Este enfoque ha sido particularmente valioso para el estudio de especies forestales incluidas en la lista CITES, como lo demuestran los trabajos realizados en la Amazonía ecuatoriana por Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022), donde los drones facilitaron la evaluación de la distribución y el estado de conservación de especies como *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*.

La combinación de drones e inteligencia artificial ofrece beneficios no solo en términos de eficiencia, sino también en la precisión de los datos obtenidos. En contextos donde las condiciones geográficas y climáticas dificultan el acceso, estas tecnologías emergentes han demostrado su capacidad para superar las barreras tradicionales, permitiendo la recopilación de información crítica en tiempo real y la generación de modelos precisos que contribuyen al diseño de estrategias de manejo forestal sostenible (Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. 2023).

Las aplicaciones de la inteligencia artificial en la identificación de especies forestales están transformando los enfoques tradicionales de monitoreo, optimizando el uso de recursos y mejorando la precisión de los resultados. Las

herramientas basadas en IA permiten una evaluación integral de los ecosistemas forestales, abriendo nuevas posibilidades para la conservación de la biodiversidad y la mitigación de amenazas globales como la deforestación y el cambio climático.

3.2. Beneficios de integrar inteligencia artificial con imágenes satelitales

La integración de la inteligencia artificial (IA) con imágenes satelitales ha permitido avances significativos en el ámbito de la gestión forestal, ofreciendo soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos relacionados con la identificación, monitoreo y conservación de los ecosistemas forestales. Esta combinación de tecnologías ha demostrado ser eficiente para optimizar recursos, aumentar la cobertura espacial, mejorar la precisión de los inventarios forestales y proporcionar información actualizada en tiempo real, fortaleciendo la capacidad de tomar decisiones estratégicas basadas en datos confiables (Zambrano-García, O. M., & Vlassova, L. 2023).

Uno de los beneficios más relevantes de esta integración es la reducción de costos y tiempo en los procesos de identificación forestal. Las técnicas tradicionales de monitoreo, que suelen requerir extensas campañas de trabajo de campo y una inversión considerable de recursos humanos y financieros, han sido complementadas y, en algunos casos, reemplazadas por algoritmos de IA que procesan datos satelitales de manera rápida y precisa. Según Guevara y Endara (2020), la implementación de sistemas de IA en la Amazonía ecuatoriana permitió identificar especies forestales clave en menos tiempo, disminuyendo significativamente los costos asociados a estas actividades. Este avance es especialmente importante en regiones con limitaciones presupuestarias, donde la eficiencia en el uso de los recursos es esencial para garantizar la continuidad de los proyectos de conservación y manejo forestal.

La integración de IA e imágenes satelitales proporciona una mayor cobertura espacial en comparación con los métodos tradicionales de campo, lo que permite monitorear áreas extensas, incluidas aquellas que son de difícil acceso debido a condiciones geográficas o climáticas. Las imágenes satelitales capturan datos sobre grandes superficies de terreno de manera continua, lo que, combinado con algoritmos de IA, permite analizar ecosistemas completos y detectar patrones que serían imposibles de observar a través del trabajo de campo. Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. (2023) destaca que esta capacidad de analizar extensiones geográficas globales es especialmente útil para identificar amenazas como la deforestación masiva o el cambio en la cobertura forestal, fenómenos que, de otra manera, pasarían desapercibidos en regiones remotas. Este beneficio tiene implicaciones significativas para la conservación de los bosques, ya que permite una intervención más temprana en áreas críticas.

Otro aspecto clave de esta integración tecnológica es la disponibilidad de información en tiempo real para la toma de decisiones estratégicas. Los avances

en IA permiten analizar y procesar datos casi al instante, proporcionando a los responsables de la gestión forestal una visión clara y actualizada del estado de los ecosistemas. Hernández (2023) señala que, con estas tecnologías, los gestores pueden reaccionar rápidamente ante amenazas emergentes, como la aparición de plagas, la degradación forestal o los incendios forestales. Por ejemplo, los algoritmos avanzados pueden identificar cambios en la estructura del dosel forestal o detectar anomalías térmicas en imágenes satelitales, lo que facilita la implementación inmediata de medidas de mitigación. Este acceso a datos en tiempo real no solo mejora la efectividad de las estrategias de manejo, sino que también ayuda a reducir el impacto de las catástrofes ambientales en los ecosistemas forestales (Kattenborn., et al 2021).

La combinación de IA e imágenes satelitales ha llevado a un incremento en la precisión de los inventarios forestales mediante algoritmos avanzados. Los sistemas basados en IA son capaces de identificar y clasificar especies forestales con un nivel de detalle que supera al de los métodos manuales, lo que resulta en inventarios más confiables y exhaustivos. Según Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. (2023), el uso de algoritmos de aprendizaje profundo ha revolucionado el monitoreo forestal al permitir la identificación de especies específicas y la evaluación precisa de características como el volumen de biomasa, la altura de los árboles y la densidad del dosel. Esta precisión es particularmente relevante para la gestión sostenible de los bosques, ya que permite una planificación más adecuada en términos de extracción de recursos, restauración ecológica y conservación de áreas prioritarias. Además, Guevara y Endara (2020) destacan que estos sistemas son capaces de identificar especies en peligro de extinción y mapear su distribución, proporcionando datos esenciales para garantizar su protección.

La integración de IA con imágenes satelitales no solo optimiza los procesos tradicionales de gestión forestal, sino que también transforma la manera en que se realiza el monitoreo y la conservación de los recursos naturales. La capacidad de reducir costos, ampliar la cobertura espacial, proporcionar información en tiempo real y aumentar la precisión en los inventarios convierte a estas tecnologías en herramientas indispensables para enfrentar los desafíos ambientales contemporáneos. Este enfoque tecnológico no solo fortalece los esfuerzos de conservación a nivel global, sino que también sienta las bases para un manejo forestal más sostenible y eficiente en el futuro (Ghosh., et al 2014).

3.3. Desafíos y limitaciones en la implementación de tecnologías emergentes

La implementación de tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA) y las imágenes satelitales, en la gestión forestal presenta desafíos importantes que limitan su adopción plena, especialmente en regiones con menores capacidades tecnológicas y económicas. Estos desafíos pueden agruparse en aspectos clave como acceso a datos, capacitación profesional, limitaciones en

los conjuntos de datos de entrenamiento y los riesgos asociados a la dependencia tecnológica.

Uno de los principales retos es el acceso limitado a imágenes satelitales de alta resolución en países en desarrollo, donde el costo elevado de estas imágenes y la falta de infraestructura adecuada dificultan su adquisición y uso. Las imágenes de alta resolución, esenciales para análisis precisos, suelen estar fuera del alcance de instituciones con recursos limitados. Esta situación perpetúa una brecha tecnológica entre los países desarrollados y aquellos con economías emergentes, restringiendo el acceso equitativo a herramientas avanzadas para la conservación y manejo de ecosistemas forestales (Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. 2023).

Otro desafío significativo es la necesidad de capacitar a profesionales en el uso de herramientas de inteligencia artificial. La implementación efectiva de IA depende de personal especializado que pueda diseñar, operar y mantener sistemas tecnológicos avanzados. Sin embargo, la falta de programas educativos y de formación dirigidos específicamente a la aplicación de IA en el ámbito forestal representa un obstáculo considerable. Hernández (2023) destaca que la formación de expertos es crucial para maximizar el potencial de estas tecnologías, ya que su manejo requiere competencias avanzadas en análisis de datos y programación. Sin una inversión en la capacitación de recursos humanos, los beneficios de la IA permanecen subutilizados.

Las limitaciones en la representación de especies forestales en los datos de entrenamiento de los modelos de IA afectan su precisión y utilidad. En regiones megadiversas, donde la catalogación de especies es incompleta o inadecuada, los algoritmos de IA pueden producir resultados sesgados o inexactos. Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. (2023) subraya que la calidad de los conjuntos de datos utilizados para entrenar los modelos de IA determina directamente su eficacia, lo que hace necesario el desarrollo de bases de datos más representativas y completas. Este desafío requiere colaboración entre instituciones académicas y ambientales para generar datos de alta calidad que permitan modelos más robustos y adaptados a las condiciones locales.

La dependencia tecnológica en la gestión de ecosistemas forestales implica riesgos que deben considerarse cuidadosamente. Si bien la tecnología mejora significativamente los procesos de monitoreo y conservación, su uso excesivo puede generar vulnerabilidades. Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. (2023) señala que las interrupciones en el acceso a datos, los ciberataques y las fallas técnicas podrían comprometer la continuidad de los programas de manejo forestal. Asimismo, una dependencia desmedida podría desincentivar el desarrollo de métodos tradicionales de monitoreo y la participación de comunidades locales en la conservación, afectando la sostenibilidad a largo plazo.

La implementación de tecnologías emergentes en el ámbito forestal enfrenta desafíos estructurales, técnicos y sociales que deben ser abordados mediante políticas públicas, colaboración internacional y programas de capacitación especializados. Superar estas barreras no solo permitirá una adopción más amplia de estas tecnologías, sino que también garantizará su impacto positivo en la conservación y gestión de los recursos naturales (Zhu., et al 2017).

4. Discusión

La discusión en torno al uso de la inteligencia artificial (IA) y las imágenes satelitales en la identificación y monitoreo de especies forestales evidencia la relevancia de estas tecnologías emergentes como herramientas disruptivas en la conservación de los ecosistemas. No obstante, su implementación plantea un conjunto de beneficios, desafíos y limitaciones que deben ser abordados mediante estrategias integrales y colaborativas para maximizar su impacto positivo en la gestión sostenible de los recursos forestales (Fassnacht., et al 2016).

El análisis de los beneficios destaca el papel transformador de estas tecnologías al optimizar procesos clave en la gestión forestal. La reducción de costos y tiempo, lograda a través de algoritmos avanzados, permite realizar inventarios forestales y análisis de biodiversidad de manera más eficiente. Guevara y Endara (2020) evidenciaron que la aplicación de IA en la Amazonía ecuatoriana no solo mejora la velocidad del reconocimiento de especies, sino que también reduce la dependencia de trabajo de campo intensivo, lo cual es especialmente crucial en áreas remotas con limitaciones de acceso. Por otra parte, la cobertura espacial ampliada que ofrecen las imágenes satelitales permite realizar evaluaciones a gran escala, abordando brechas que los métodos tradicionales no podían superar (Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. 2023).

Otro beneficio importante es la capacidad de las herramientas tecnológicas para proporcionar información en tiempo real, lo que resulta crítico en un contexto ambiental que demanda respuestas rápidas frente a amenazas como la deforestación y los incendios forestales. Hernández (2023) subraya que el monitoreo en tiempo real facilita la toma de decisiones estratégicas, permitiendo la implementación de medidas inmediatas para mitigar daños y proteger áreas críticas. Además, la precisión lograda en los inventarios forestales, gracias a los avances en el aprendizaje profundo, redefine la calidad de los datos disponibles para los gestores forestales. Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. (2023) argumenta que estos algoritmos no solo mejoran la precisión de las evaluaciones, sino que también permiten identificar características específicas de las especies, contribuyendo a una planificación más eficiente de los recursos.

Los desafíos y limitaciones inherentes a la implementación de estas tecnologías revelan la necesidad de un enfoque más inclusivo y equitativo en su desarrollo y

aplicación. Uno de los obstáculos más significativos es el acceso restringido a imágenes satelitales de alta resolución en países en desarrollo. Las brechas económicas y tecnológicas impiden que instituciones en estas regiones puedan aprovechar plenamente los avances tecnológicos. Zambrano-García, O. M., & Vlassova, L. (2023) destaca que esta exclusión tecnológica perpetúa desigualdades en el manejo de los recursos naturales, limitando el alcance global de los beneficios asociados con estas innovaciones.

La carencia de profesionales capacitados en el uso de herramientas de IA representa un desafío estructural que requiere atención inmediata. La formación especializada es indispensable para operar y mantener estos sistemas, y su ausencia limita la eficacia y sostenibilidad de los proyectos tecnológicos en el ámbito forestal. Hernández (2023) enfatiza que, sin un fortalecimiento en las capacidades humanas, los avances tecnológicos no se traducirán en beneficios tangibles para la gestión ambiental.

Otro punto crítico es la insuficiencia de datos representativos en los conjuntos de entrenamiento de los algoritmos. En regiones megadiversas, la subrepresentación de especies forestales en los datos afecta la precisión y confiabilidad de los modelos. Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. (2023) argumenta que esta limitación refleja no solo un desafío técnico, sino también una falta de inversión en la generación y sistematización de datos, lo que subraya la importancia de iniciativas colaborativas para desarrollar bases de datos más completas y representativas.

La dependencia creciente de tecnologías avanzadas en la gestión de los ecosistemas forestales plantea riesgos que deben ser evaluados con seriedad. Aunque estas herramientas ofrecen soluciones innovadoras, su uso excesivo puede generar vulnerabilidades frente a fallos técnicos, ciberataques o interrupciones en el suministro de datos (Erazo-Luzuriaga, A. F., et. al. 2023). Además, una excesiva confianza en la tecnología podría desplazar enfoques tradicionales de monitoreo y exclusión de las comunidades locales, que históricamente han desempeñado un papel fundamental en la conservación de los ecosistemas.

La integración de IA e imágenes satelitales en la gestión forestal representa un avance significativo con el potencial de transformar la forma en que se abordan los desafíos ambientales contemporáneos. Sin embargo, para maximizar sus beneficios y mitigar sus limitaciones, es fundamental adoptar un enfoque equilibrado que combine el desarrollo tecnológico con estrategias inclusivas, fortalecimiento de capacidades humanas y colaboración internacional. Solo a través de un enfoque integral será posible garantizar que estas tecnologías contribuyan efectivamente a la conservación de los ecosistemas forestales y al bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

5. Conclusiones

Las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y las imágenes satelitales, están revolucionando la manera en que se gestionan los recursos forestales, ofreciendo soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos globales relacionados con la conservación de los ecosistemas. Estas herramientas permiten optimizar procesos esenciales como la identificación de especies, el monitoreo de cambios en la biodiversidad y la generación de datos en tiempo real, aspectos fundamentales para la toma de decisiones estratégicas en el ámbito forestal.

El uso de estas tecnologías contribuye significativamente a la eficiencia y precisión de los inventarios forestales, mejorando la capacidad de analizar grandes volúmenes de información con una cobertura espacial ampliada. Esto ha permitido abordar limitaciones históricas asociadas a métodos tradicionales de campo, especialmente en áreas remotas y de difícil acceso. Además, su capacidad para reducir costos y tiempos operativos las convierte en una opción viable para proyectos de conservación y manejo sostenible, incluso en contextos con restricciones presupuestarias.

La limitada accesibilidad a imágenes satelitales de alta resolución, la insuficiencia de datos representativos en los algoritmos de aprendizaje profundo y la falta de personal capacitado en el uso de estas herramientas dificultan su adopción plena, especialmente en países en desarrollo. Asimismo, la dependencia excesiva de la tecnología plantea riesgos asociados a su vulnerabilidad técnica y a la posible exclusión de enfoques tradicionales y saberes locales, que son igualmente valiosos para la conservación forestal.

Para maximizar el impacto de estas tecnologías y garantizar su sostenibilidad, es necesario abordar estos desafíos mediante políticas públicas que fomenten el acceso equitativo a recursos tecnológicos, el fortalecimiento de capacidades humanas y la creación de bases de datos más representativas y completas. Además, es fundamental adoptar un enfoque balanceado que integre las innovaciones tecnológicas con los conocimientos tradicionales y las dinámicas sociales de las comunidades locales, asegurando una gestión forestal inclusiva y resiliente.

Las tecnologías emergentes ofrecen un potencial significativo para transformar la gestión de los ecosistemas forestales. Sin embargo, su éxito depende de un enfoque colaborativo, que combine avances tecnológicos con estrategias inclusivas y sostenibles, permitiendo enfrentar los retos ambientales contemporáneos de manera efectiva y equitativa.

Referencias Bibliográficas

- Anderson, K., & Gaston, K. J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146. <https://doi.org/10.1890/120150>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Corporación Nacional Forestal. (2023). Aplican inteligencia artificial en fotomonitorio con cámaras trampa dentro de áreas silvestres protegidas. *Portal Agro Chile*. Recuperado de <https://www.portalagrochile.cl/2023/04/11/aplican-inteligencia-artificial-en-fotomonitorio-con-camaras-trampa-dentro-de-areas-silvestres-protegidas/>
- Erazo-Luzuriaga, A. F., Ramos-Secaira, F. M., Galarza-Sánchez, P. C., & Boné-Andrade, M. F. (2023). La inteligencia artificial aplicada a la optimización de programas informáticos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1), 48–63. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/61>
- Fassnacht, F. E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L. T., ... & Ghosh, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 64-87. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>
- Ghosh, A., Fassnacht, F. E., Joshi, P. K., & Koch, B. (2014). A framework for mapping tree species combining hyperspectral and LiDAR data: Role of selected classifiers and sensor across three spatial scales. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 49-63. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.017>
- Guevara, J. E., & Endara, M. J. (2020). Inteligencia artificial para identificar árboles en la Amazonía de Ecuador. *Primicias*. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/inteligencia-artificial-asistira-identificacion-arboles-amazonia/>
- Hernández, J. (2023). Tecnologías aplicadas al monitoreo e investigación de los bosques hoy. Universidad de Chile. Recuperado de <https://uchile.cl/noticias/202643/tecnologias-aplicadas-al-monitoreo-e-investigacion-de-los-bosques-hoy>
- Kattenborn, T., Leitloff, J., Schiefer, F., & Hinz, S. (2021). Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173, 24-49. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.12.010>
- Kentsch, S., Karatsiolis, S., Kamilaris, A., Tomhave, L., & Lopez Caceres, M. L. (2020). Identification of Tree Species in Japanese Forests based on Aerial Photography and Deep Learning. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.08907>
- Mata-Montero, E., Figueroa-Mata, G., Arias-Aguilar, D., Valverde-Otárola, J. C., Zamora-Villalobos, N., Paniagua-Bastos, J. C., & López-Aragón, S.

- (2020). Identificación automática de especies forestales maderables amenazadas de Costa Rica, mediante técnicas de visión artificial. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13276>
- Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reátegui Inga, M. E. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3), e12708. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12708>
- Universidad de Huelva. (2020). Sistema automático de censo y seguimiento de la biodiversidad usando técnicas de aprendizaje profundo (Deep Learning). *Fundación Biodiversidad*. Recuperado de https://fundacion-biodiversidad.es/proyectos_ficha/sistema-automatico-de-censo-y-seguimiento-de-la-biodiversidad-usando-tecnicas-de-aprendizaje-profundo-deep-learning/
- Zambrano-Garcia, O. M., & Vlassova, L. (2023). Algoritmo de inteligencia artificial para la detección de cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.), banano (*Musa paradisiaca* L.) y palma africana (*Elaeis guineensis* J.). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.61>
- Zhang, Y., & Wang, Y. (2020). Monitoring biodiversity changes in forests using deep learning techniques. *Ecological Informatics*, 57, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101110>
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.-S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.