

INCORPORACIÓN JURÍDICA DE DRONES Y SENSORES REMOTOS EN LA OBTENCIÓN PROBATORIA PENAL AMBIENTAL COLOMBIANA

LEGAL INCORPORATION OF DRONES AND REMOTE SENSORS INTO THE GATHERING OF EVIDENCE IN COLOMBIAN ENVIRONMENTAL CRIMINAL CASES

INCORPORAÇÃO JURÍDICA DE DRONES E SENSORES REMOTOS À COLETA DE PROVAS EM PROCESSOS CRIMINAIS AMBIENTAIS COLOMBIANO

Leidy Johanna Arenales Rangel

Polícia Nacional de Colombia
leidy.arenales@correo.policia.gov.co

David Alexander Laguna Doncel

Polícia Nacional de Colombia
david.laguna5159@correo.policia.gov.co

Fecha de recepción: 25 de junio de 2025

Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2025

Disponible en línea: 28 de julio de 2026

Sugerencia de citación:

Arenales Rangel, L. J., Laguna Doncel, D. A. (2026). Incorporación jurídica de drones y sensores remotos en la obtención probatoria penal ambiental colombiana. *Razón Crítica*, 21, 1-22. <https://doi.org/10.21789/25007807.2227>

Resumen

Ante el avance de la criminalidad ambiental, el presente artículo analiza el papel de las nuevas tecnologías, particularmente los drones y los sensores remotos, en el fortalecimiento de la investigación penal ambiental en Colombia. A partir de un enfoque cualitativo, documental y propositivo, el estudio identifica los vacíos normativos y operativos que obstaculizan la obtención, validación y valoración de pruebas en delitos como la deforestación y la minería ilegal, examinando experiencias internacionales que demuestran la efectividad de estas tecnologías en la recolección de evidencia técnica y científica. El artículo propone un modelo de articulación institucional para su implementación en el contexto colombiano, así como lineamientos jurídicos y operativos orientados a garantizar la admisibilidad probatoria, el respeto a los derechos fundamentales y la eficiencia investigativa. Finalmente, se destacan mecanismos viables de financiación nacional e internacional y se argumenta la necesidad de reformas normativas, capacitación técnica y cooperación interinstitucional. Jurídicamente, esta investigación ofrece aportes sustantivos al desarrollo de una justicia penal ambiental más efectiva, moderna y alineada con los estándares internacionales de sostenibilidad, legalidad y protección de los bienes jurídicos colectivos.

Palabras clave: Derecho ambiental; justicia penal; nuevas tecnologías; prueba digital; drones y sensores remotos; ciencias sociales.

Abstract

Considering rising environmental crime, this article analyzes the role of new technologies—particularly drones and remote sensors—in strengthening environmental criminal investigations in Colombia. Adopting a qualitative, documentary, and proposal-oriented approach, the study identifies the regulatory and operational gaps that hinder the obtaining, validation, and assessment of evidence regarding crimes such as deforestation and illegal mining, while examining international experiences that demonstrate the effectiveness of these technologies in gathering technical and scientific evidence. The article proposes a model for institutional coordination for implementation within the Colombian context, as well as legal and operational guidelines aimed at ensuring evidentiary admissibility, respect for fundamental rights, and investigative efficiency. Finally, it highlights viable national and international funding mechanisms and argues for the necessity of regulatory reforms, technical training, and inter-institutional cooperation. From a legal perspective, this research makes substantive contributions to the development of an environmental criminal justice system that is more effective, modern, and aligned with international standards of sustainability, legality, and the protection of collective legal interests.

Keywords: Environmental law; criminal justice; new technologies; digital evidence; drones and remote sensors; social sciences.

Resumo

Diante do aumento dos crimes ambientais, este artigo analisa o papel de novas tecnologias — particularmente drones e sensores remotos — no fortalecimento das investigações criminais ambientais na Colômbia. Adotando uma abordagem qualitativa, documental e propositiva, o estudo identifica as lacunas regulatórias e operacionais que dificultam a obtenção, a validação e a avaliação de provas relacionadas a crimes como desmatamento e mineração ilegal, ao mesmo tempo em que examina experiências internacionais que demonstram a eficácia dessas tecnologias na coleta de evidências técnico-científicas. O artigo propõe um modelo de coordenação institucional para implementação no contexto colombiano, bem como diretrizes jurídicas e operacionais voltadas a garantir a admissibilidade da prova, o respeito aos direitos fundamentais e a eficiência investigativa. Por fim, destaca mecanismos viáveis de financiamento nacional e internacional e defende a necessidade de reformas regulatórias, capacitação técnica e cooperação interinstitucional. Sob uma perspectiva jurídica, esta pesquisa traz contribuições substanciais para o desenvolvimento de um sistema de justiça criminal ambiental mais eficaz, moderno e alinhado aos padrões internacionais de sustentabilidade, legalidade e proteção de interesses jurídicos coletivos.

Palavras-chave: Direito ambiental; justiça criminal; novas tecnologias; provas digitais; drones e sensores remotos; ciências sociais.

Introducción

La investigación penal enfrenta en la actualidad nuevos retos derivados de la complejidad creciente de los delitos ambientales, fenómenos que atentan gravemente contra los bienes jurídicos colectivos y que afectan de manera directa los derechos fundamentales de las comunidades. Puntualmente, en Colombia, delitos como la deforestación y la minería ilegal comprometen la biodiversidad y los ecosistemas estratégicos, mientras provocan serios impactos socioeconómicos y culturales (Vargas et al., 2020). Frente a estos desafíos, el uso de nuevas tecnologías, como drones y sensores remotos, se perfila como una herramienta

estratégica para fortalecer la eficacia de la investigación penal y optimizar la obtención y validación de medios probatorios.

En Colombia, la deforestación ha alcanzado niveles alarmantes, con una pérdida de 123 517 ha de bosque en 2022, concentrándose en departamentos como Caquetá, Guaviare y Meta, zonas claves para la conectividad ecológica amazónica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2023). De igual forma, la minería ilegal afecta al menos 100 municipios y ha contaminado más de 80 ríos con mercurio, según informes de la Procuraduría General de la Nación (2024). Estas actividades amenazan la biodiversidad, deterioran fuentes hídricas, desplazan comunidades y financian estructuras criminales. Frente a esta degradación sistemática, se requiere una intervención penal más ágil, científica y tecnológicamente equipada que permita contener esta emergencia ecológica.

La protección del medio ambiente ha sido reconocida como un deber y un derecho de rango constitucional en Colombia, como lo establece el artículo 79 de la Constitución Política (1991), en concordancia con tratados internacionales como el Acuerdo de Escazú de 2018. No obstante, la práctica evidencia serias dificultades para lograr resultados efectivos en materia de persecución penal de los delitos ambientales debido a limitaciones técnicas y operativas en la recolección de pruebas (Yepes et al., 2022). Frente a este escenario, las nuevas tecnologías ofrecen un gran potencial para superar los vacíos existentes y fortalecer el trabajo de los operadores judiciales.

Entre las principales dificultades que enfrenta actualmente la investigación penal en delitos ambientales se encuentran las condiciones geográficas adversas, la falta de acceso oportuno a los lugares afectados y la insuficiencia de recursos técnicos para recolectar pruebas idóneas y confiables (Esper, 2019). Estas carencias afectan directamente la calidad de las evidencias presentadas en juicio, debilitando los procesos de judicialización y facilitando la impunidad. Por consiguiente, la falta de innovación en los métodos de investigación constituye un obstáculo estructural que debe ser abordado con urgencia.

Frente a esta problemática, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo puede el uso de nuevas tecnologías, como drones y sensores remotos, fortalecer la investigación penal en Colombia, optimizando la determinación eficiente y válida de pruebas en casos de delitos ambientales como la deforestación y la minería ilegal? Dicho interrogante orienta la estructura y el desarrollo del presente estudio, el cual busca describir la situación actual, analizar experiencias apreciables y proponer soluciones viables.

El objetivo general de esta investigación es analizar cómo el uso de nuevas tecnologías, como drones y sensores remotos, puede contribuir al fortalecimiento de la investigación penal en Colombia, con énfasis en la determinación eficiente y válida de pruebas en casos de delitos ambientales como la deforestación y la minería ilegal. De este propósito se derivan tres objetivos específicos: primero, identificar los vacíos normativos y operativos actuales en la recolección de pruebas en investigaciones penales por delitos ambientales en Colombia; segundo, evaluar experiencias nacionales e internacionales relevantes sobre el uso de tecnologías emergentes en procesos judiciales relacionados con delitos ambientales; y tercero, proponer lineamientos técnicos y jurídicos para la incorporación de tecnologías como drones y sensores remotos en los procedimientos de investigación penal con el fin de optimizar la eficacia probatoria.

Ahora bien, la importancia y pertinencia de esta investigación se sustenta en diversos factores, por cuanto existen evidentes vacíos en la práctica penal colombiana respecto al uso de tecnologías en la investigación de delitos ambientales. A pesar de los avances normativos en

materia de protección ambiental, la aplicación práctica de estas normas enfrenta limitaciones severas por la falta de métodos de investigación modernos y adaptados a los rasgos de los delitos contra el medio ambiente (Grisales-Beltrán, 2023). Asimismo, el incremento alarmante de delitos ambientales en el país, evidenciado por informes de la Procuraduría General de la Nación y de organizaciones internacionales como la ONU Medio Ambiente (2022), demanda respuestas más eficientes y especializadas por parte de las autoridades judiciales.

Aunado a lo anterior, la necesidad de fortalecer la eficacia probatoria mediante la innovación tecnológica se configura como un imperativo inaplazable, opinión compartida por Cardona Pérez (2024), para quien el estándar probatorio exigido en los procesos penales requiere que la evidencia sea obtenida de manera lícita, oportuna, completa y fiable; características que pueden ser garantizadas mediante el uso de tecnologías que reduzcan el margen de error humano y aumenten la objetividad en la recolección de datos. En este sentido, la incorporación de drones y sensores remotos en los procedimientos de investigación penal tiene un fundamento técnico y una justificación jurídico-procesal.

En el plano internacional, diversos países han avanzado en la regulación y uso de tecnologías emergentes para la persecución de delitos ambientales. Así, experiencias de naciones como Estados Unidos, Canadá y Brasil demuestran que el empleo de sistemas de monitoreo aéreo, imágenes satelitales y análisis de datos geoespaciales puede mejorar en gran medida la detección temprana de delitos, la obtención de pruebas y la eficacia de los procesos judiciales (Bortagaray y de Montevideo, 2016). Colombia, en cambio, presenta un rezago importante en este campo, lo que evidencia la urgencia de adoptar medidas concretas para cerrar esa brecha.

Este artículo, por tanto, busca contribuir al debate académico y jurídico sobre la modernización de la investigación penal en delitos ambientales, proponiendo alternativas que integren el potencial de las nuevas tecnologías dentro del marco de las garantías procesales vigentes. Para ello, se estructura en varias secciones: en primer lugar, se presenta una revisión crítica de los antecedentes y del marco teórico relacionado con los delitos ambientales, la investigación penal y el uso de tecnologías emergentes; segundo, se describe la metodología empleada, basada en el análisis documental y comparativo de fuentes jurídicas y doctrinales; posteriormente, se exponen los resultados obtenidos, organizados en torno a los vacíos detectados, las experiencias relevantes y las propuestas formuladas; y finalmente, se presentan las conclusiones del estudio, destacando las contribuciones realizadas y señalando las líneas futuras de investigación necesarias para profundizar en la materia.

Por ende, con esta investigación se pretende aportar elementos que fortalezcan el ejercicio del derecho penal ambiental en Colombia, favoreciendo una respuesta estatal más eficaz, oportuna y respetuosa de los derechos fundamentales, en consonancia con los principios del Estado social de derecho y la protección de los bienes jurídicos colectivos. Asimismo, teniendo en consideración que en un contexto donde la degradación ambiental avanza a un ritmo alarmante, el perfeccionamiento de los mecanismos de investigación y judicialización de los responsables se erige como una tarea esencial para garantizar el respeto del derecho a un ambiente sano, consagrado en la Constitución de 1991 y en los instrumentos internacionales de derechos humanos.

En suma, la necesidad de innovar en los métodos de recolección de pruebas en los delitos ambientales no responde únicamente a consideraciones técnicas, sino también a exigencias jurídicas y éticas vinculadas al acceso efectivo a la justicia ambiental. Como advierten autores como García y Amaya (2023), el acceso a pruebas robustas y confiables es una condición indispensable para asegurar la efectividad de los derechos ambientales y, por

ende, para consolidar un modelo de justicia penal que responda a las complejas dinámicas de criminalidad ambiental contemporánea. Por tanto, la incorporación de tecnologías novedosas en el proceso penal colombiano sobrepasa los límites de una opción para convertirse en una obligación correlativa al mandato constitucional de protección del medio ambiente.

Revisión crítica de antecedentes y marco teórico

La comprensión del fenómeno de los delitos ambientales es fundamental para contextualizar los desafíos que enfrenta la investigación penal en Colombia. Cabe señalar que los delitos ambientales, en términos generales, se definen como aquellas conductas que, de manera ilícita, afectan negativamente los componentes del medio ambiente, transgrediendo los marcos normativos que buscan proteger los recursos naturales y el equilibrio ecológico (Sadeleer, 2017). Dichas acciones vulneran bienes jurídicos colectivos y, en muchos casos, afectan de forma directa derechos fundamentales como la vida, la salud y el acceso al agua potable, conforme lo reconoce la doctrina contemporánea (Paredes Paredes y Almagro Castro, 2023).

Es importante destacar que la clasificación de los delitos ambientales varía de acuerdo con los sistemas jurídicos. En Colombia, se identifican principalmente en torno a tres grandes grupos: delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente, delitos asociados a la biodiversidad y delitos derivados de actividades extractivas ilegales (Grisales-Beltrán, 2023). Bajo este enfoque, la deforestación —tipificada como daño a los recursos naturales renovables— y la minería ilegal —contemplada en el artículo 338 del Código Penal Colombiano (Ley 599, 2000)— constituyen dos de los fenómenos delictivos más preocupantes por su incidencia creciente y su impacto desproporcionado en zonas de alta sensibilidad ecológica como la Amazonía y el Pacífico colombiano (Vargas et al., 2020).

El fundamento legal de la protección ambiental en Colombia se encuentra consagrado principalmente en la Constitución, la cual establece en su artículo 79 el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, así como el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines (Constitución Política, 1991). Asimismo, el artículo 80 refuerza esta obligación imponiendo al Estado el deber de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible (Corte Constitucional, 2024).

Conforme a lo anterior, en materia penal, el título XI del Código Penal Colombiano (Ley 599 de 2000) regula los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente. Entre las conductas sancionadas se encuentran el daño en los recursos naturales (artículo 328), la explotación ilícita de yacimientos mineros (artículo 338) y la contaminación ambiental (artículo 331), entre otros. No obstante, diversos estudios han señalado que la tipificación penal presenta ambigüedades y dificultades de aplicación, lo que ha limitado la efectividad de la acción punitiva frente a los delitos ambientales (García, 2022).

Bajo este enfoque, la normativa internacional también juega un papel relevante en la protección ambiental y en la orientación de la investigación penal. En este sentido, Colombia ha ratificado instrumentos como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el *Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación* y, más recientemente, el Acuerdo de Escazú, el cual fortalece el acceso a la información, la participación pública y la justicia en asuntos ambientales (ONU, 2018). Estos

tratados imponen obligaciones específicas que deben ser consideradas en la investigación y sanción de los delitos ambientales.

No obstante, la recolección de pruebas en delitos ambientales enfrenta múltiples obstáculos en Colombia: desde el punto de vista técnico, la dificultad de acceder a las zonas rurales más aisladas, las condiciones climáticas adversas y la falta de equipamiento especializado limitan la capacidad de los investigadores para documentar adecuadamente los hechos delictivos (García, 2022); y desde el punto de vista jurídico, la cadena de custodia de la evidencia recolectada en contextos ambientales presenta desafíos particulares que afectan la validez y la admisibilidad de las pruebas en los procesos judiciales (Catota, 2020).

A ello se le suman vacíos normativos y operativos, entre los que destaca la falta de protocolos específicos para la utilización de nuevas tecnologías en la investigación de delitos ambientales. De allí que la ausencia de regulación clara sobre el uso de drones, sensores remotos y técnicas de monitoreo ambiental plantea interrogantes sobre la licitud de las pruebas obtenidas mediante estos medios, especialmente en lo que respecta a la protección del derecho a la intimidad y a la inviolabilidad del domicilio (Corte Constitucional, 2012).

En este escenario, las tecnologías innovadoras se presentan como alternativas idóneas para superar las limitaciones tradicionales. Los drones, también conocidos como Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), permiten obtener imágenes de alta resolución en tiempo real, facilitando la identificación de áreas afectadas por actividades ilícitas sin poner en riesgo a los investigadores (Dávila, 2024) gracias a su capacidad para sobrevolar zonas de difícil acceso y documentar daños ambientales con precisión, lo cual los convierte en una herramienta valiosa para fortalecer la fase de recaudo probatorio.

A su vez, los sensores remotos abarcan una amplia gama de dispositivos capaces de captar información sobre el medio ambiente desde una distancia considerable, incluyendo satélites, sistemas de radar y cámaras multiespectrales (Campbell, 2024). Estas tecnologías permiten realizar análisis comparativos de cambios en la cobertura vegetal, detección de alteraciones en cuerpos de agua y monitoreo de áreas protegidas, aportando evidencia científica robusta que puede ser utilizada en los procesos penales para demostrar la comisión de delitos ambientales.

Otras tecnologías de apoyo relevantes incluyen el uso de imágenes satelitales de alta resolución, la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) para el procesamiento de datos espaciales y la inteligencia artificial aplicada al análisis de grandes volúmenes de datos ambientales (Vitola-Quintero et al., 2024), ya que estas herramientas amplían las capacidades de los investigadores para detectar patrones de comportamiento delictivo, establecer vínculos de causalidad y cuantificar los daños ocasionados al medio ambiente.

Cabe precisar que la experiencia internacional ofrece ejemplos valiosos sobre la eficacia de estas tecnologías. Por ejemplo, en Brasil, el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) utiliza imágenes satelitales para monitorear en tiempo real la deforestación en la Amazonía, proporcionando información fidedigna que ha sido utilizada en procesos judiciales contra responsables de delitos ambientales (López, 2023). Este es el caso también de Estados Unidos, donde la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha empleado drones para documentar vertimientos ilegales de desechos tóxicos, mejorando la calidad de las pruebas presentadas ante los tribunales (United States Environmental Protection Agency, 2022).

Sin embargo, también se han identificado obstáculos en la implementación de estas tecnologías, entre los cuales se encuentran los altos costos de adquisición y mantenimiento de

los equipos, la necesidad de capacitación especializada para su operación y la falta de protocolos claros que garanticen la legalidad de la evidencia recolectada (Elguera Carbajal, 2024). Asimismo, existe una preocupación sobre el respeto a los derechos fundamentales de las personas afectadas por la vigilancia aérea, lo que exige un delicado equilibrio entre eficacia investigativa y respeto a las garantías constitucionales.

Pese a estos desafíos, se han identificado buenas prácticas en la experiencia comparada: la adopción de marcos normativos que regulen expresamente el uso de tecnologías en el contexto penal, la elaboración de protocolos de actuación que aseguren la cadena de custodia de la evidencia tecnológica y la capacitación continua de los operadores judiciales. Estas son algunas de las medidas que han demostrado ser efectivas para potenciar el uso de drones y sensores remotos en la investigación de delitos ambientales (Thompson, 2021).

En el contexto colombiano, algunos pilotos de uso de drones para el monitoreo de parques nacionales naturales y zonas de reserva forestal han mostrado resultados prometedores, aunque todavía limitados en cuanto a su integración efectiva en los procesos penales (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2022). Estas iniciativas demuestran que, con la adecuada regulación y fortalecimiento institucional, es posible aprovechar el potencial de dichas tecnologías para enfrentar de manera más eficiente los delitos ambientales.

Metodología

En cuanto al diseño metodológico de la presente investigación, se fundamenta en un enfoque cualitativo, basado en el análisis de contenidos normativos, jurisprudenciales y doctrinales, y complementado con el estudio de experiencias prácticas en el uso de tecnologías innovadoras en la investigación penal de delitos ambientales. En este sentido, la naturaleza cualitativa se justifica por la necesidad de comprender los marcos jurídicos, interpretar las dinámicas operativas y formular propuestas de mejora normativa y técnica, siguiendo las recomendaciones de Flick (2018) sobre investigación social cualitativa aplicada al ámbito jurídico.

Asimismo, el tipo de investigación desarrollado es documental, puesto que se concentra en la revisión y sistematización de fuentes secundarias relevantes. En consecuencia, se trata de un estudio descriptivo, en tanto analiza las condiciones actuales de la investigación penal ambiental en Colombia; analítico, en la medida en que identifica los problemas y vacíos normativos y operativos; y propositivo, dado que plantea lineamientos técnicos y jurídicos para optimizar la eficacia probatoria mediante la incorporación de nuevas tecnologías, en coherencia con el enfoque metodológico planteado por Hernández et al. (2014).

Las fuentes de información utilizadas en esta investigación incluyen, en primer lugar, normativa nacional relevante, como la Constitución Política de 1991, el Código Penal Colombiano y normas sectoriales ambientales específicas. Además, se consideran instrumentos de derecho internacional, particularmente aquellos que comprometen a Colombia en materia de protección ambiental, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y el Acuerdo de Escazú, conforme al análisis de Poorhashemi (2021) sobre la internacionalización del derecho ambiental.

Además, se realiza un examen exhaustivo de jurisprudencia relevante, principalmente de la Corte Constitucional y de la Corte Suprema de Justicia, que ha interpretado y desarrollado el contenido de los derechos ambientales y los estándares probatorios en el contexto penal. Este análisis sigue las pautas metodológicas propuestas por Paredes Paredes y

Almagro Castro (2023), quienes destacan la importancia de la jurisprudencia como fuente normativa en sistemas constitucionalizados.

Desde esta perspectiva, la doctrina especializada constituye otra fuente esencial a través del estudio de libros y artículos científicos publicados por expertos en derecho penal ambiental, derecho probatorio y nuevas tecnologías aplicadas al proceso penal. Se revisan, además, reportes y estudios de casos que documentan el uso de drones, sensores remotos y otras tecnologías emergentes en la detección y judicialización de delitos ambientales tanto a nivel nacional como internacional, en concordancia con las directrices de Yin (2018) sobre investigación basada en estudios de caso.

Ahora bien, el criterio de selección de fuentes se basó en su pertinencia actual, privilegiando aquellas publicadas en los últimos ocho años para asegurar la contemporaneidad de los datos analizados. A su vez, la relevancia jurídica y tecnológica fue otro criterio fundamental, priorizando documentos que abordaran directamente los temas de investigación penal, delitos ambientales y tecnologías innovadoras, en línea con los estándares de calidad científica recomendados por Arias (2023) para revisiones documentales sistemáticas.

En cuanto al método de análisis, se empleó un análisis de contenido legal, identificando las disposiciones normativas aplicables, sus vacíos y las tensiones interpretativas que surgen en su aplicación práctica. A tal efecto, se aplicó un análisis doctrinal, examinando las posiciones académicas sobre los desafíos probatorios en delitos ambientales y el uso de tecnologías en la investigación penal, como sugiere Lariguet (2019) en sus estudios sobre metodología jurídica.

Asimismo, se llevó a cabo un análisis jurisprudencial, sistematizando las decisiones relevantes de altas cortes colombianas para identificar tendencias, criterios reiterados y estándares aplicables a la recolección de pruebas en delitos ambientales, lo que permitió evaluar en qué medida la jurisprudencia ha facilitado o limitado la adopción de tecnologías emergentes como medios lícitos de prueba en el proceso penal.

De manera complementaria, se realizó un análisis comparativo de experiencias nacionales e internacionales siguiendo la metodología propuesta por Gutteridge (2023) para el derecho comparado, lo que ayudó a identificar buenas prácticas, obstáculos recurrentes y recomendaciones derivadas de contextos jurídicos diferentes al colombiano, proporcionando insumos valiosos para la formulación de propuestas contextualizadas y viables.

Cabe señalar que las limitaciones de la investigación deben ser reconocidas para situar adecuadamente el alcance de los resultados obtenidos. En primer lugar, se enfrentó la restricción de acceso a datos confidenciales relativos a investigaciones penales en curso por delitos ambientales dado el carácter reservado de muchos de estos procesos en Colombia, lo que restringió la posibilidad de realizar un análisis empírico directo sobre casos concretos, por lo cual se optó por un enfoque centrado en fuentes públicas y literatura especializada.

En segundo lugar, se identificó la escasa regulación específica sobre el uso de tecnologías innovadoras en el proceso penal colombiano, ya que, aunque existen disposiciones generales sobre medios de prueba y admisibilidad probatoria en el Código de Procedimiento Penal, no se cuenta aún con un marco normativo claro que regule el empleo de drones, sensores remotos o inteligencia artificial en las investigaciones penales, como lo advierte Dávila (2024). Esta ausencia normativa implica que gran parte del análisis se haya basado en criterios doctrinales, interpretaciones jurisprudenciales y comparaciones internacionales.

Adicionalmente, la rápida evolución tecnológica plantea un desafío metodológico en tanto que las innovaciones en sensores remotos, procesamiento de imágenes y análisis de datos avanzan a un ritmo que supera muchas veces la actualización de los marcos regulatorios y doctrinales. Este fenómeno, identificado por Aguilar (2021) como “brecha de gobernanza tecnológica”, condiciona la vigencia temporal de algunos hallazgos y recomendaciones formuladas en el presente estudio. Finalmente, la investigación reconoce la dificultad de extrapolar directamente experiencias internacionales a la realidad colombiana, debido a diferencias contextuales en cuanto a estructura institucional, capacidades tecnológicas, marco normativo y cultura jurídica. Por esta razón, el análisis comparativo se realizó con criterios de adaptación contextual, valorando aquellas experiencias que, con las adecuadas adaptaciones, puedan ser plausiblemente replicadas en el sistema jurídico colombiano.

Resultados

La investigación permitió identificar importantes vacíos normativos y operativos en el contexto colombiano respecto al uso de nuevas tecnologías para la investigación penal de delitos ambientales. En cuanto al marco jurídico vigente, este no contempla de manera expresa la utilización de drones, sensores remotos o imágenes satelitales como medios de prueba en el proceso penal, lo cual genera incertidumbre sobre su admisibilidad y valoración en juicio (Dávila, 2024). Esta ausencia de regulación específica dificulta la labor de los fiscales e investigadores, quienes deben recurrir a interpretaciones extensivas de normas generales de prueba contenidas en el Código de Procedimiento Penal.

Asimismo, se evidenció que no existen protocolos operativos estandarizados para la captura, procesamiento y preservación de datos obtenidos mediante estas tecnologías en investigaciones ambientales. Desde el punto de vista jurídico, la falta de lineamientos claros sobre la cadena de custodia de imágenes aéreas, grabaciones remotas y datos geoespaciales pone en riesgo su autenticidad y la posibilidad de ser considerados elementos probatorios válidos, como advierte Herrera (2024) en su análisis sobre pruebas electrónicas en Colombia.

En cuanto a la práctica procesal, se constató que los operadores judiciales carecen de formación específica en el manejo y valoración de evidencia tecnológica relacionada con delitos ambientales, situación que repercute negativamente en la calidad de los actos de investigación y en la fundamentación de decisiones judiciales, como lo señalan Álvarez Sánchez et al. (2023), quienes enfatizan la necesidad de capacitación técnica y jurídica permanente para fiscales, jueces y defensores públicos.

Por otro lado, el análisis de experiencias nacionales e internacionales proporcionó insumos valiosos para comprender el potencial y los desafíos de incorporar tecnologías emergentes en el combate a los delitos ambientales. En Colombia, iniciativas como el Programa de Monitoreo de la Amazonía, liderado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), utilizan sensores satelitales para detectar focos de deforestación, aunque su articulación con procesos penales aún es incipiente (IDEAM, 2022).

Respecto al ámbito internacional, destaca el caso de Brasil, donde el sistema Deter (Detección de Deforestación en Tiempo Real) ha permitido la emisión de alertas tempranas sobre cambios en la cobertura forestal amazónica, facilitando intervenciones oportunas por parte de las autoridades ambientales y fiscales (Souza et al., 2024). No obstante, un análisis detallado revela que, aunque el sistema Deter ha mejorado la capacidad de respuesta institucional, enfrenta limitaciones relacionadas con la resolución de las imágenes y la integración de los datos en los procesos judiciales (Assunção et al., 2015).

Otra experiencia relevante proviene de Estados Unidos, donde la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha empleado drones para documentar vertimientos ilegales de sustancias contaminantes en ríos y lagos. Estos dispositivos han permitido la obtención de evidencia directa en casos que, de otra manera, serían difíciles de probar debido a la magnitud y dispersión de los daños (EPA, 2022). Sin embargo, la EPA ha debido establecer estrictos protocolos de operación para garantizar el respeto a los derechos constitucionales de privacidad y propiedad privada, conforme lo exige el *fourth amendment*.

A nivel europeo, se observó que, en países como España, el uso de Aeronaves no Tripuladas en investigaciones ambientales está regulado por normativa específica que establece requisitos técnicos, límites de operación y procedimientos para la incorporación de los datos recolectados al proceso penal (Bustos, 2023). Dicha regulación posibilita que las evidencias obtenidas mediante drones sean admitidas sin mayores controversias en procesos judiciales, fortaleciendo así las capacidades de investigación y sanción.

Mediante el análisis de estas experiencias se identificaron factores de éxito que resultan pertinentes para una implementación efectiva en el contexto colombiano. En primera instancia, la existencia de marcos normativos claros que definan los alcances y limitaciones del uso de tecnologías en el proceso penal es fundamental para garantizar la validez y admisibilidad de las pruebas. De igual manera, la capacitación especializada de los operadores judiciales en el manejo y valoración de evidencia tecnológica es indispensable para asegurar un adecuado uso de estas herramientas.

Por otra parte, entre las limitaciones detectadas se encuentran los elevados costos de adquisición y mantenimiento de equipos tecnológicos, así como los desafíos logísticos para su operación en territorios de difícil acceso como las selvas amazónicas, los páramos y las zonas montañosas del Pacífico colombiano (Robinson y Smith, 2018). También se identificó la necesidad de establecer mecanismos de cooperación interinstitucional entre entidades ambientales, fiscales y judiciales para optimizar el uso de los recursos disponibles.

Respecto a la factibilidad de incorporar drones y sensores remotos en Colombia, el análisis sugiere que existen condiciones jurídicas, técnicas y operativas que deben ser fortalecidas para viabilizar esta incorporación de manera efectiva. Desde el punto de vista jurídico, es imperativo reformar el Código de Procedimiento Penal para reconocer expresamente la validez de las pruebas obtenidas mediante tecnologías emergentes en investigaciones de delitos ambientales, siguiendo modelos como el propuesto por Cardona Pérez (2024) para la regulación de la evidencia digital.

Cabe señalar que, técnicamente, se requiere la adquisición de drones de alta resolución, sensores multispectrales y plataformas de análisis geoespacial con el fin de capturar, procesar y almacenar información de manera segura y eficiente. Bajo este enfoque, la implementación de laboratorios forenses ambientales equipados para el tratamiento de evidencia tecnológica constituiría un paso decisivo en este sentido, como lo han planteado expertos en ciencias forenses ambientales como Wiltshire (2024).

En este orden de ideas, operativamente es necesario diseñar protocolos estandarizados que regulen todo el ciclo de vida de la evidencia tecnológica desde la captura en campo hasta su presentación en juicio, protocolos que deben contemplar aspectos como la autenticación de los datos, la protección de la cadena de custodia, la preservación de metadatos y la certificación de los operadores de los dispositivos. Lo anterior en consonancia con las recomendaciones de Casey (2019) sobre manejo de evidencia digital.

En línea con lo anterior, un aspecto crítico es la protección de derechos fundamentales durante el uso de las nuevas tecnologías, ya que la vigilancia aérea mediante drones debe respetar los principios de proporcionalidad, necesidad y razonabilidad, como lo exige el artículo 15 de la Constitución colombiana (Constitución Política, 1991) y la jurisprudencia de la Corte Constitucional en materia de derecho a la intimidad (Corte Constitucional, 2014). En consecuencia, cualquier intervención tecnológica en la investigación penal debe estar debidamente autorizada por la autoridad competente y ser objeto de control judicial.

En cuanto a los beneficios esperados, la incorporación de tecnologías innovadoras permitiría mejorar la eficiencia y efectividad de la investigación penal ambiental, reduciendo los tiempos de reacción ante los delitos, aumentando la calidad de las pruebas recolectadas y facilitando la imputación de responsabilidades individuales o colectivas. Además, contribuiría a fortalecer la legitimidad institucional y la confianza ciudadana en la capacidad del Estado para proteger los bienes jurídicos colectivos.

No obstante, el proceso de implementación debe considerar también los riesgos inherentes a la adopción de nuevas tecnologías: la posible vulnerabilidad a ataques cibernéticos, la obsolescencia tecnológica y los desafíos éticos asociados al uso de inteligencia artificial en la toma de decisiones investigativas. Estos riesgos exigen el diseño de estrategias de mitigación que garanticen la seguridad de la información y el respeto de los principios del debido proceso (Thompson, 2021).

Finalmente, el análisis realizado permite afirmar que, si bien Colombia enfrenta importantes retos para la incorporación de drones y sensores remotos en la investigación penal ambiental, también cuenta con una base normativa, institucional y técnica sobre la cual construir avances en la materia. En ese sentido, la experiencia internacional demuestra que la innovación tecnológica, cuando es acompañada de una adecuada regulación y fortalecimiento institucional, transforma radicalmente las capacidades del Estado para enfrentar de manera eficaz la criminalidad ambiental.

Discusión

El análisis efectuado en esta investigación conduce a realizar una interpretación crítica de los hallazgos, aportando nuevas perspectivas sobre las condiciones actuales y las proyecciones futuras del uso de nuevas tecnologías en la investigación penal ambiental en Colombia. En términos generales, se logró evidenciar que, aunque existe un reconocimiento progresivo de la importancia de integrar herramientas tecnológicas como drones y sensores remotos en las labores de investigación penal, la falta de un marco regulatorio específico y de protocolos operativos adecuados limita su incorporación efectiva. Lo anterior coincide con los diagnósticos realizados por Muñoz (2023) sobre innovación tecnológica en procesos judiciales.

Entre los logros alcanzados se encuentra la consolidación de iniciativas institucionales orientadas a la aplicación de tecnologías de monitoreo ambiental, lo que demuestra un interés incipiente por modernizar los métodos de investigación. La implementación de proyectos piloto en áreas protegidas, la adquisición de equipos tecnológicos y la capacitación básica en herramientas de teledetección constituyen avances relevantes que permiten vislumbrar un cambio de paradigma en la persecución penal de los delitos ambientales, alineándose con las tendencias internacionales descritas por Barfield y Pagallo (2020) sobre criminalística forense contemporánea.

Sin embargo, persisten obstáculos que impiden la plena efectividad de estas tecnologías en el ámbito judicial. Concretamente, la ausencia de legislación específica genera inseguridad jurídica respecto a la admisibilidad probatoria de la evidencia obtenida mediante drones o sensores remotos (Sierra, 2008). Además, las carencias en la infraestructura tecnológica, los déficits presupuestales y la insuficiente capacitación especializada de los operadores judiciales profundizan las brechas entre la disponibilidad tecnológica y su utilización efectiva en procesos penales.

Desde una perspectiva teórica, los hallazgos de esta investigación ponen de manifiesto la tensión entre la innovación tecnológica y los principios clásicos del derecho procesal penal, ya que la adopción de nuevas herramientas plantea la necesidad de reformular los conceptos tradicionales de obtención, aseguramiento y valoración de la prueba (Yepes et al., 2022). En consecuencia, este fenómeno desafía el modelo inquisitivo y acusatorio tradicional, exigiendo una relectura crítica de las garantías procesales bajo la óptica de las nuevas realidades tecnológicas.

De igual forma, en términos prácticos la evidencia tecnológica representa un gran aporte para mejorar la eficacia de las investigaciones penales ambientales. Así pues, la posibilidad de capturar imágenes aéreas de alta resolución, realizar mediciones geoespaciales precisas y documentar en tiempo real actividades ilícitas proporciona a los fiscales instrumentos más sólidos para fundamentar sus acusaciones, reduciendo la dependencia exclusiva de testimonios humanos o pruebas materiales tradicionales, como lo señalan Robinson y Smith (2018) en su estudio sobre innovación tecnológica en derecho penal.

No obstante, la incorporación de esta evidencia plantea retos considerables en materia de admisibilidad probatoria. Por ende, según criterios reiterados por la Corte Suprema de Justicia de Colombia (2021), toda prueba debe cumplir con los principios de licitud, autenticidad y fiabilidad para ser valorada en juicio. En este contexto, la falta de regulación sobre la recolección, almacenamiento y presentación de pruebas tecnológicas incrementa el riesgo de exclusión probatoria por vicios en la cadena de custodia o por violaciones a derechos fundamentales (Cardona Pérez, 2024).

En términos jurídicos, la interpretación crítica de estos resultados sugiere que no basta con incorporar nuevas tecnologías; es imprescindible desarrollar una arquitectura jurídica y procedimental que asegure su integración respetuosa de los principios del debido proceso. Como advierte Susskind (2019), la modernización del derecho no debe poner en riesgo los pilares fundamentales de la justicia, sino fortalecerlos mediante la adecuación de los procedimientos a las dinámicas contemporáneas. Ahora bien, el impacto de la tecnología sobre la eficacia probatoria no es automático ni homogéneo, depende en gran medida de factores contextuales como la calidad técnica de los equipos utilizados, la capacitación del personal que los opera, la claridad de los protocolos de actuación y la supervisión judicial efectiva sobre los procedimientos de obtención de pruebas (Dávila, 2024).

Es preciso señalar que, en Colombia, la incorporación de nuevas tecnologías en la investigación penal ambiental enfrenta un entorno de alta complejidad, caracterizado por factores geográficos adversos, limitada cobertura institucional en zonas rurales y alta vulnerabilidad de los ecosistemas afectados. Dichos elementos imponen exigencias adicionales al diseño de estrategias de implementación tecnológica, las cuales deben ser adaptadas a las condiciones específicas de cada región siguiendo el enfoque territorial propuesto por García-Cabana (2022) para políticas públicas ambientales.

Desde el punto de vista de la admisibilidad probatoria, uno de los principales retos es garantizar que las pruebas tecnológicas cumplan con los estándares de legalidad exigidos por la Constitución y el Código de Procedimiento Penal (Ley 906, 2004). En consecuencia, el principio de proporcionalidad debe guiar la utilización de dispositivos de vigilancia aérea, evitando afectaciones innecesarias o desproporcionadas a derechos fundamentales, como lo exigen las reglas de interpretación constitucional establecidas en la Sentencia ST-364 de la Corte Constitucional colombiana (2018).

Además, se requiere fortalecer la capacidad técnica de las autoridades judiciales para comprender y evaluar correctamente la evidencia tecnológica, en virtud de la complejidad técnica de los datos obtenidos mediante drones o sensores remotos, lo que puede dificultar su interpretación y valoración adecuada si no se cuenta con peritos especializados y protocolos de validación robustos. Esta situación ya fue advertida en experiencias internacionales como la de Australia, donde los tribunales exigen estándares estrictos de autenticación de evidencia digital (Logaraja, 2015).

Otro aspecto crítico identificado es la necesidad de establecer límites claros para el uso de tecnologías innovadoras en la investigación penal. Aunque su potencial es innegable, su utilización sin controles adecuados podría derivar en prácticas de vigilancia masiva o recolección indiscriminada de datos, vulnerando principios de necesidad y proporcionalidad. Según Lee et al. (2022), el auge de la vigilancia tecnológica impone la necesidad urgente de actualizar los marcos normativos para proteger la privacidad y otros derechos fundamentales en sociedades digitales.

En consecuencia, se puede concluir que la incorporación efectiva de nuevas tecnologías en la investigación penal ambiental en Colombia exige una acción simultánea en varios frentes: adecuación normativa, fortalecimiento institucional, capacitación técnica, desarrollo de protocolos operativos y establecimiento de mecanismos de control y supervisión judicial. Cada uno de estos componentes es indispensable para asegurar que el uso de drones, sensores remotos y otras tecnologías contribuya efectivamente a la mejora de la justicia penal ambiental sin sacrificar los valores y principios que sustentan el Estado social de derecho.

Desde una perspectiva más amplia, el fenómeno analizado revela la necesidad de promover una cultura jurídica de la innovación responsable, en la cual el uso de tecnologías no sea visto únicamente como una cuestión técnica, sino como un componente integral de los procesos de garantía de derechos y de fortalecimiento de la democracia (Hildebrandt, 2023).

Asimismo, también se identificaron líneas futuras de investigación, entre las cuales destacan el estudio de los impactos sociales y culturales de la adopción de nuevas tecnologías en procesos penales, la evaluación de los riesgos asociados a la manipulación o alteración de evidencia tecnológica y el análisis de modelos comparados de regulación probatoria en entornos digitales. Dichos temas adquieren especial relevancia en un contexto global de rápida evolución tecnológica y creciente interdependencia normativa.

En definitiva, la integración de tecnologías emergentes en la investigación penal de delitos ambientales representa una oportunidad estratégica para mejorar la eficacia del sistema judicial colombiano, pero su éxito dependerá de la capacidad de los actores institucionales para gestionar adecuadamente los desafíos jurídicos, éticos y técnicos que ello implica. La tecnología, en sí misma, no garantiza justicia; es el marco normativo, la preparación de los operadores y el respeto de los principios constitucionales los que permitirán que estas herramientas se conviertan en verdaderos instrumentos de protección de los bienes jurídicos colectivos y de garantía de los derechos fundamentales.

Propuesta de lineamientos técnicos y jurídicos

La incorporación de tecnologías como drones y sensores remotos en la investigación penal de delitos ambientales requiere de un marco jurídico y operativo que garantice la eficacia de las pruebas recolectadas y, al mismo tiempo, respete los derechos fundamentales de las personas. Con base en los hallazgos de esta investigación, se plantean una serie de criterios legales, recomendaciones operativas y sugerencias de capacitación orientados a optimizar el uso de estas tecnologías en el contexto colombiano.

Propuesta de criterios legales para regular el uso de drones y sensores en investigación penal

Para superar la actual indefinición normativa y brindar seguridad jurídica a los operadores judiciales resulta indispensable la promulgación de una ley especial o la modificación del Código de Procedimiento Penal (Ley 906, 2004) que incluya disposiciones específicas sobre el uso de tecnologías emergentes en la recolección de pruebas. Dicha reforma debería contemplar, al menos, los criterios esenciales que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Propuesta de criterios legales para regular el uso de drones y sensores en investigación penal.

Principio	Descripción
Legalidad y autorización previa	El uso de drones o sensores debe ser autorizado por un juez de control de garantías conforme al artículo 250 de la Constitución Política de Colombia y la Sentencia C-336 de la Corte Constitucional.
Proporcionalidad y necesidad	La vigilancia tecnológica solo procede si es estrictamente necesaria y no existen medios menos intrusivos para recaudar la evidencia requerida.
Protección de la intimidad	Deben implementarse protocolos para evitar la captación de información irrelevante o sensible, garantizando el respeto a la intimidad y al domicilio.
Admisibilidad y cadena de custodia	La evidencia digital debe ser recogida con actas formales que aseguren su autenticidad, integridad y trazabilidad conforme a estándares técnicos.
Limitación temporal y espacial	Las autoridades deben establecer claramente el tiempo y el espacio de operación, evitando monitoreos indiscriminados o masivos.
Responsabilidad del operador	Solo personal certificado puede operar estos dispositivos, asumiendo consecuencias administrativas y penales en caso de uso indebido.

La adopción de estos criterios contribuiría a cerrar las lagunas legales existentes y permitiría la integración ordenada y respetuosa de las nuevas tecnologías en el proceso penal ambiental colombiano.

Recomendaciones operativas para la Fiscalía General de la Nación y entidades ambientales

La efectividad de los medios tecnológicos en la investigación penal no depende únicamente del marco legal, sino también de la existencia de protocolos operativos claros y consistentes. En este sentido, en la tabla 2 se proponen acciones concretas para la Fiscalía General de la Nación y las entidades ambientales competentes.

Tabla 2. Recomendaciones operativas para la Fiscalía General de la Nación y entidades ambientales.

Recomendación técnica	Descripción especializada
Protocolos operativos estandarizados	La Fiscalía, junto con autoridades ambientales, debe establecer protocolos para planificar misiones con drones y sensores, regulando la captura, custodia y uso probatorio.
Unidades forenses especializadas	Crear unidades técnicas con fiscales y analistas formados en teledetección y georreferenciación dedicadas a investigaciones ambientales con base tecnológica.
Infraestructura tecnológica avanzada	Dotar a estas unidades de drones de alta resolución, sensores multispectrales, estaciones móviles y <i>software</i> SIG para análisis espacial.
Bases de datos georreferenciadas	Implementar repositorios digitales que almacenen imágenes, videos y datos, asegurando su autenticidad y disponibilidad para procesos judiciales.
Coordinación interinstitucional	Establecer canales permanentes entre Fiscalía, Policía ambiental, IDEAM e IGAC para operativos conjuntos y flujo eficiente de información técnica.

La implementación de estas recomendaciones fortalecería la capacidad investigativa del Estado para obtener una reacción más rápida, efectiva y basada en evidencia científica ante la comisión de delitos que afecten gravemente el patrimonio natural colombiano.

Sugerencias de capacitación para operadores judiciales

Bajo este enfoque, la transformación tecnológica de la investigación penal exige una actualización permanente de las competencias de los operadores judiciales. En este sentido, en la tabla 3 se presentan unas sugerencias de capacitación.

Tabla 3. Sugerencias de capacitación para operadores judiciales.

Sugerencias	Descripción
Diseñar programas de formación continua	La Escuela Judicial Rodrigo Lara Bonilla y la Escuela de Estudios e Investigaciones Criminalísticas de la Fiscalía deben incluir en sus programas de capacitación cursos sobre tecnologías emergentes, evidencia digital, drones, sensores remotos y derecho probatorio digital, siguiendo las propuestas formativas de Susskind (2019).
Promover certificaciones técnicas	Los fiscales, investigadores, peritos y jueces involucrados en investigaciones ambientales deberían obtener certificaciones reconocidas en operación de Vehículos Aéreos no Tripulados, análisis de imágenes satelitales y gestión de datos geoespaciales.
Fomentar la capacitación intersectorial	Organizar talleres conjuntos con profesionales de ciencias ambientales, geografía, ingeniería electrónica y derecho para fomentar enfoques interdisciplinarios en el uso de tecnologías en la investigación penal, en línea con las recomendaciones de Thompson (2021) sobre formación jurídica en entornos digitales.
Actualización en estándares internacionales	Capacitar a los operadores en los marcos regulatorios y las buenas prácticas adoptadas en otros sistemas jurídicos para el manejo de evidencia tecnológica, como las guías elaboradas por Interpol y el Consejo de Europa sobre cibercrimen y evidencia electrónica (Organización Internacional de Policía Criminal, 2021).
Evaluaciones periódicas de competencias	Establecer mecanismos de evaluación continua del desempeño de los operadores judiciales en el manejo de las nuevas tecnologías para garantizar la actualización y el mantenimiento de altos estándares de calidad en la recolección y presentación de pruebas.

Estas sugerencias de capacitación permitirían fortalecer las habilidades técnicas de los operadores y la comprensión crítica de los límites éticos, jurídicos y procesales que deben respetarse en el uso de tecnologías en el ámbito judicial.

Tabla 4. Organización de las funciones estratégicas de las entidades.

Entidad	Función estratégica
Fiscalía General de la Nación	Direccionamiento jurídico del uso probatorio de tecnologías, emisión de lineamientos de admisibilidad y coordinación interinstitucional.
Policía Nacional – Dirección de Carabineros y Protección Ambiental	Implementación operativa de tecnologías en campo, aseguramiento de cadena de custodia digital y formación táctica especializada.
IDEAM, ANLA y Parques Nacionales Naturales	Verificación técnica de datos geoespaciales, elaboración de peritajes digitales y provisión de alertas de monitoreo ambiental.
Corporaciones Autónomas Regionales	Coordinación territorial, apoyo logístico y facilitación de infraestructura tecnológica en zonas priorizadas.

Financiamiento

La viabilidad financiera y normativa de incorporar tecnologías emergentes en la investigación penal ambiental en Colombia puede estructurarse a partir de tres pilares complementarios: cooperación internacional, financiación estatal y soporte jurídico-doctrinal.

Desde el plano internacional, Colombia puede acceder a recursos mediante mecanismos multilaterales como el Fondo Verde para el Clima (GCF), que ha financiado sistemas satelitales avanzados en países como Brasil (2020); el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), que ha apoyado proyectos de monitoreo forestal y vigilancia remota en el país (2021); y la Declaración Conjunta de Intención (JDI) con Noruega, Alemania y Reino Unido, que ha canalizado pagos por resultados REDD+ para reducir la deforestación (MinAmbiente, 2024). Estas fuentes son estratégicas para financiar propuestas de monitoreo judicial ambiental lideradas por la Fiscalía y la Policía Nacional.

En el ámbito interno, la ley por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética (Ley 2099 de 2021) y el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 establecen la prioridad del control ambiental y la vigilancia tecnológica, permitiendo al Ministerio de Ambiente cofinanciar infraestructura técnica. Además, el Sistema General de Regalías posibilita estructurar proyectos regionales de vigilancia forestal con drones (Bohórquez Camargo, 2012), mientras que MinCiencias ofrece convocatorias para soluciones tecnológicas en seguridad y ambiente. Por su parte, la Ley 1333 de 2009, por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental, permite destinar recursos recuperados por daño ambiental a la modernización investigativa.

Finalmente, la Sentencia C-449 de la Corte Constitucional reafirma el deber estatal de priorizar financieramente los asuntos ambientales (2015). Bernal (2017) y Dejusticia (2021) sostienen que el Estado debe dotar al sistema judicial de herramientas tecnológicas adecuadas para proteger derechos colectivos. Dicha articulación interinstitucional, normativa y financiera constituye una vía jurídicamente legítima y operativamente viable para consolidar un sistema de investigación penal ambiental tecnológicamente fortalecido.

Conclusiones

La presente investigación ofrece una visión integral sobre el potencial transformador de las nuevas tecnologías en la investigación penal ambiental en Colombia. A partir de un análisis normativo, doctrinal, jurisprudencial y comparado se identificaron barreras y oportunidades en el uso de drones, sensores remotos y otras herramientas tecnológicas aplicadas a la recolección de pruebas.

En este orden de ideas, uno de los principales aportes radica en la formulación de criterios jurídicos claros para regular el uso de tecnologías en el proceso penal, sustentados en

el respeto a los derechos fundamentales, los principios del debido proceso y los estándares internacionales de admisibilidad probatoria. Asimismo, se diseñaron propuestas operativas para el fortalecimiento institucional de la Fiscalía General de la Nación y las autoridades ambientales, integrando enfoques técnicos, jurídicos y organizacionales. Finalmente, también se elaboró una estrategia de formación interdisciplinaria dirigida a fiscales, jueces, peritos e investigadores y orientada a la apropiación responsable de herramientas tecnológicas y a su correcta valoración como medios de prueba, con el fin de reducir riesgos de invalidez o controversia jurídica en sede judicial.

En términos sustantivos, el estudio demuestra que, con una adecuada regulación e implementación, las tecnologías emergentes pueden reforzar la eficacia procesal, garantizar la protección de los bienes jurídicos colectivos y legitimar socialmente la justicia penal ambiental. Dicha perspectiva se inscribe en una visión de justicia compatible con los principios de sostenibilidad y responsabilidad intergeneracional. No obstante, la investigación enfrentó limitaciones relevantes debido a la falta de acceso a información reservada sobre casos activos, lo cual impidió una validación empírica directa, y la ausencia de una regulación específica sobre evidencia tecnológica en Colombia obligó a fundamentar muchas recomendaciones en experiencias internacionales y principios generales.

Frente a estos desafíos, se proponen futuras líneas de investigación orientadas al análisis empírico de casos judiciales que involucren evidencia tecnológica, estudios interdisciplinarios sobre los impactos éticos y sociales de su uso y análisis costo-beneficio sobre su implementación. Asimismo, se recomienda desarrollar estudios comparativos sobre marcos regulatorios en otras jurisdicciones que sirvan de referente para el diseño de una legislación nacional robusta. En síntesis, más allá de incorporar tecnologías, el reto es integrarlas de forma estratégica, garantista y sostenible en el sistema penal colombiano, asegurando que sirvan a la verdad procesal sin menoscabar los derechos que el Estado está obligado a proteger.

Referencias

- Aguilar, L. J. (2021). *Internet de las cosas. Un futuro hiperconectado: 5G, inteligencia artificial, Big Data, Cloud, Blockchain, Ciberseguridad*. Alpha Editorial.
- Álvarez Sánchez, G., Figueroa Mejía, A. P., y Criollo Rey, P. A. (2023). Influencia de la criminología ambiental en la respuesta policial: caso Colombia. *Constructos Criminológicos*, 3(4), 133-146. <https://doi.org/10.29105/cc3.4-45>
- Arias Odón, F. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *Revista electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 31(22), 9-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9489470>
- Assunção, J., Gandour, C., y Rocha, R. (2015). Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies? *Environment and Development Economics*, 20(6), 697-722. <https://doi.org/10.1017/S1355770X15000078>
- Barfield, W., y Pagallo, U. (2020). *Advanced introduction to law and artificial intelligence*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781789905137>
- Bedoya Sierra, L. F. (2008). *La prueba en el proceso penal colombiano*. Fiscalía General de la Nación.

- Bernal Pulido, C. (2017). *El principio de proporcionalidad y los derechos fundamentales*. Universidad Externado de Colombia.
- Bohórquez Camargo, J. O. (2012). Evolución del régimen de regalías en Colombia a partir de la Constitución Política de 1991. *Equidad y Desarrollo*, (19), 137-160.
<https://doi.org/10.19052/ed.2312>
- Bortagaray, I., y de Montevideo, U. O. (2016). *Políticas de ciencia, tecnología, e innovación sustentable e inclusiva en América Latina*.
- Bustos Moreno, Y. B. (2023). Hacia una nueva especialización jurídica: El Derecho de los Drones. *Observatorio Jurídico Aeroespacial*, (12), 170-172.
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/138284/3/Bustos_2023_BolOJA-170-172.pdf
- Cardona Pérez, J. D. (2024). *La valoración de la prueba o evidencia digital en los procesos judiciales*. Grupo Editorial Ibáñez.
- Casey, E. (2019). *Digital evidence and computer crime: Forensic science, computers, and the internet*. Academic press.
- Catota Acosta, M. C. (2020). *La inversión de la carga de la prueba en los delitos ambientales* (Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar).
<https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/7723>
- Código Penal Colombiano. Ley 599 de 2000. 24 de julio de 2000 (Colombia).
- Código de Procedimiento Penal de Colombia [CPP]. Ley 906 de 2004. 31 de agosto de 2004 (Colombia).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe*.
<https://www.cepal.org/es/acuerdodeescazu>
- Constitución política de Colombia [Const.]. 7 de julio de 1991 (Colombia).
- Corte Constitucional. Sentencia C-336 de 2007, MP Jaime Córdoba Triviño, 9 de mayo de 2007.
- Corte Constitucional. Sentencia C-301 de 2012, MP Jorge Ignacio Pretelt Chaljub, 18 de abril de 2012.
- Corte Constitucional. Sentencia C-449 de 2015, MP Gloria Stella Ortiz Delgado, 29 de julio de 2015.
- Corte Constitucional. Sentencia T-578 de 2015, MP Jorge Iván Palacio Palacio, 4 de septiembre de 2015.

- Corte Constitucional. Sentencia ST-364 de 2018, MP Alberto Rojas Ríos, 4 de septiembre de 2018.
- Corte Constitucional. Sentencia SU-371 de 2021, MP Antonio José Lizarazo Ocampo, 27 de octubre de 2021.
- Corte Constitucional. Sentencia C-280 de 2024, MP Antonio José Lizarazo Ocampo, 11 de julio de 2024.
- Council of Europe. (2020). *Guidelines on the use of electronic evidence in criminal proceedings*. Council of Europe Publishing.
- Dávila Peña, C. A. (2024). Análisis e integración de la prueba electrónica en el contexto normativo colombiano: evolución, aplicación y desafíos. *Revista del Instituto Colombiano de Derecho Procesal*, (1).
https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A2%3A23957122/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A177504995&crl=c&link_origin=scholar.google.com
- Dejusticia. (2021). *Tecnología, justicia y derechos: propuestas para un sistema judicial digital con enfoque en derechos humanos*. Centro de Estudios de Derecho, Justicia y Sociedad.
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. Colombia potencia mundial de la vida*. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- Elguera Carbajal, F. E. (2024). Uso de drones en las operaciones policiales para mejorar el patrullaje integrado y combatir la inseguridad ciudadana. *Revista Académica de la Escuela de Posgrado de la Policía Nacional del Perú*, 4(1), 73-83.
<https://doi.org/10.59956/escpograpnpv4num1.5>
- Environmental Protection Agency. (2022). *Annual Enforcement Report 2022*.
<https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-03/eoy2022.pdf>
- Flick, U. (2018). *Introducción a la investigación cualitativa*. Morata.
- Fondo Mundial para el Medio Ambiente. (2021). *Colombia: Project Portfolio*.
<https://www.thegef.org/projects-operations/country/colombia>
- Fondo Verde para el Clima. (2020). *Brazil REDD+ Results-based Payments for results achieved in 2014 and 2015*. <https://www.greenclimate.fund/project/fp095>
- García Pachón, M. del P. (Ed.). (2022). *Derecho penal ambiental y reparación de daños a la naturaleza*. Universidad Externado de Colombia.
- García Pachón, M. del P. y Amaya, O. (2023). *Derecho procesal ambiental*. Universidad Externado de Colombia. <https://publicaciones.uexternado.edu.co/gpd-derecho-procesal-ambiental-9789587721881.html>

- García-Cabana, A. C. (2022). Estado del arte de la evaluación de la política pública de planeación territorial ambiental en Colombia. *Revista Geográfica de América Central*, (68), 55-78. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.2>
- Grisales-Beltrán, J. S. (2023). *Delitos ambientales en Colombia: una visión comparativa sobre la Ley 1333 de 2009 y la Ley 2111 de 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/8fe269df-6a24-4e51-93fa-a01e5ee91026>
- Gutteridge, H. C. (2023). *El derecho comparado*. Ediciones Olejnik.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw hill.
- Herrera Onofre, J. (2024). *Blockchain como garantía de la cadena de custodia en el análisis forense digital* [Tesis de Maestría, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/8448442d-0091-4ae2-aa57-bd62c4e80051>
- Hildebrandt, M. (2023). Grounding computational 'law' in legal education and professional legal training. En B. Broseck, O. Kanevskaja y P. Patka (Eds.), *Research Handbook on Law and Technology* (pp. 99-127). Edward Elgar Publishing.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Informe anual de monitoreo de la deforestación en Colombia 2021-2022*. <https://doi.org/10.4337/9781803921327.00014>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). *Monitoreo de la deforestación en Colombia – Informe anual 2022*. www.ideam.gov.co/web/bosques/deforestacion-colombia
- Lariguet, G. (2019). *Metodología de la investigación jurídica: Propuestas contemporáneas*. Editorial Brujas.
- Leal Esper, Y. E. (2019). Minería ilegal, conflicto armado y vulneración al medio ambiente. *Infometric@-Serie Sociales y Humanas*, 2(1). <https://www.infometrica.org/index.php/ssh/article/view/44>
- Lee, H., Kang, S., y Lee, U. (2022). Understanding privacy risks and perceived benefits in open dataset collection for mobile affective computing. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 6(2), 1-26. <https://doi.org/10.1145/3534623>
- Ley 1333 de 2009. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental. 10 de julio de 2009). DO No. 47 410.

Ley 2099 de 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética. 10 de julio de 2021. DO No. 51 725.

Logarajah, S. (2015). *Confronting the new frontier of evidence: Are the current rules of evidence in Western Australia capable of dealing effectively with digital evidence?* [Tesis doctoral, Murdoch University]. <https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/graduate/Confronting-the-new-frontier-of-evidence/991005544117407891>

López, M. P. (2023). Iniciativas y áreas de cooperación científico-tecnológica con Brasil: perspectivas desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina (2019-2022). *Revista Aportes para la Integración Latinoamericana*, (48). <https://doi.org/10.24215/24689912e046>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Informe de pagos por resultados REDD+ Colombia – Declaración Conjunta de Intención*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-internacionales/cooperacion/dci>

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2023). *Convocatorias para la financiación de proyectos de innovación ambiental*. <https://minciencias.gov.co/convocatorias>

Muñoz Marín, L. J. (2023). *Los retos del Sistema Judicial colombiano para una justicia electrónica eficaz* [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/a9ffd2cf-8595-48bo-bd8b-f5cf8cf043ab>

Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Delitos ambientales: informe mundial 2022*. https://www.unodc.org/res/environment-climate/resources_html/Annual_Report_GPCAE_2022_es.pdf

Organización Internacional de Policía Criminal. (2023). *Interpol Global guidelines for digital forensics laboratorios*.

Paredes Paredes, F. I. y Almagro Castro, D. (2023). El concepto de Constitución en el constitucionalismo contemporáneo en América Latina. *Revista de Derecho Político*, (116), 339-359. <https://doi.org/10.5944/rdp.116.2023.37162>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2022). *Informe de gestión en monitoreo de áreas protegidas*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/wp-content/uploads/2023/09/pnn-informe-de-gestion-iii-trimestre-2022.pdf>

Poorhashemi, A. (2021). Opportunities and challenges facing the future development of International Environmental Law. En H. Gökçekuş y Y. Kassem (Eds.), *International Conference on Natural Resources and Sustainable Environmental Management* (pp. 41-47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04375-8_5

- Procuraduría General de la Nación. (2024). *Informe nacional: minería ilegal y contaminación por Mercurio en Colombia*. Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios. <https://foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2024/12/Informe-Nacional-Mineria-Ilegal-y-Contaminacion-por-Mercurio-en-Colombia-2.pdf>
- Robinson, W. K., y Smith, J. T. (2018). Emerging technologies challenging current legal paradigms. *Minn. JL Sci. & Tech.*, 19, 355. <https://doi.org/10.24926/15529541.3801>
- Sadeleer, N. de. (2020). *Environmental Principles: From Political Slogans to Legal Rules*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198844358.001.0001>
- Souza-Lima, J. E., Ricci Salomoni, L., y de Oliveira, F. G. (2024). Indicadores de la necropolítica socioambiental brasileña. *Veredas do Direito*, 21. <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2437-esp>
- Susskind, R. (2023). *Tomorrow's Lawyers: An Introduction to Your Future*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/9780192864727.001.0001>
- Thompson, S. J. (Ed.). (2021). *Machine law, ethics, and morality in the age of artificial intelligence*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4894-3>
- United States Environmental Protection Agency. (2022). *Use of Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Environmental Enforcement*. EPA Publications. <https://www.epa.gov/geospatial/epa-unmanned-aircraft-systems-uas-program>
- Vargas Chaves, I., Gómez-Rey, A., e Ibáñez Elam, A. (2020). *Escuela de derecho ambiental. Homenaje a Gloria Amparo Rodríguez*. Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/tj9789587843927>
- Vitola-Quintero, M., Ballestas-Campo, N. J., Pérez-Cerro, J. D., y Forbes-Santiago, R. N. (2024). Implicaciones éticas, sociales y ambientales de la inteligencia artificial para el desarrollo sostenible: una revisión de la literatura. *Revista científica anfibios*, 7(1), 72-81. <https://doi.org/10.37979/afb.2024v7n1.148>
- Wiltshire, P. (2024). *Forensic ecology*. <https://doi.org/10.1039/BK9781837672240-00062>
- Yepes Gómez, M., Pérez, J., y Peinado, M. (2022). Aplicación de la prueba electrónica en el marco normativo colombiano. *Novum Jus*, 16(1), 253-277. <https://doi.org/10.14718/novumjus.2022.16.1.11>
- Yin, R. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. Sage.