

Estrategias para Mejorar la Calidad de los Estudios de Impacto Ambiental en  
Proyectos Energéticos



Estrategias para Mejorar la Calidad de los Estudios de Impacto Ambiental en Proyectos  
Energéticos: Un Enfoque desde la Revisión Documental y el Proceso de Licenciamiento en  
Colombia

Cristian Camilo Salinas Ramos

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

enero de 2025

Estrategias para Mejorar la Calidad de los Estudios de Impacto Ambiental en  
Proyectos Energéticos

Estrategias para Mejorar la Calidad de los Estudios de Impacto Ambiental en Proyectos  
Energéticos: Un Enfoque desde la Revisión Documental y el Proceso de Licenciamiento en  
Colombia

Cristian Camilo Salinas Ramos

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor(a)  
Ivonne Tatiana Muñoz Martínez  
Magíster en Administración

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Rectoría Virtual  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos  
enero de 2025

## Contenido

Lista de tablas .....	5
Lista de figuras.....	6
1 INTRODUCCIÓN .....	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
1.1 Descripción del problema.....	8
1.2 La pregunta de investigación .....	9
1.3 Los objetivos de investigación .....	9
1.3.1 Objetivo general .....	9
1.3.2 Objetivos específicos .....	9
1.4 Justificación de la investigación.....	10
2. MARCO DE REFERENCIA.....	12
2.1 Marco de antecedentes.....	12
2.2. Marco Teórico.....	16
2.3. Marco normativo.....	19
3. METODOLOGÍA .....	23
3.1. Enfoque y alcance de la investigación .....	23
3.2. Población y muestra.....	23
3.2.1. Definición de la población.....	23
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra.....	24
3.3. Instrumento(s).....	24
3.4. Descripción de procedimientos.....	24
3.5. Análisis de información .....	25
3.5.1. Análisis de datos recolectados y codificación .....	25
3.5.2. Datos recolectados.....	25

## Estrategias para Mejorar la Calidad de los EIAs en Proyectos Energéticos

3.5.3.	Codificación de datos .....	26
3.6	Consideraciones éticas.....	27
4	RESULTADOS.....	28
4.1	Estrategias de mejora en los Estudios de Impacto Ambiental .....	37
4.1.1	Fortalecimiento de la Línea Base Ambiental .....	37
4.1.2	Interpretación de Coberturas .....	38
4.1.3	2. Aprovechamiento Forestal .....	38
4.1.4	Zonificación Ambiental.....	39
5	CONCLUSIONES .....	40
5.1	Recomendaciones .....	40
6	REFERENCIAS.....	44

**Lista de tablas**

Tabla 1 Proyectos archivados en el sector energía durante los últimos 5 años..... 29

Tabla 2 Falencias identificadas en cada uno de los proyectos identificados acorde a los capítulos detallados en los términos de referencia: ..... 31

Tabla 3 Criterio identificados por entregable de los EIAs ..... 34

**Lista de figuras**

Figura 1 Resultado de la valoración para los entregables de introducción, descripción del proyecto, área de influencia, y línea base abiótica ..... 35

Figura 2 Resultado de la valoración para los entregables de línea base biótica, línea base social, zonificación ambiental, evaluación ambiental..... 35

Figura 3 Resultado de la valoración para los entregables de Planes de manejo ambiental, aprovechamiento forestal, interpretación de coberturas y cartografía base..... 36

## 1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de proyectos energéticos en Colombia enfrenta desafíos críticos debido a las deficiencias en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), lo que ha generado elevadas tasas de archivo o licenciamiento parcial de iniciativas clave por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Entre 2019 y 2024, varios proyectos estratégicos fueron archivados debido a inconsistencias técnicas y documentales, lo que refleja una falta de rigor en la elaboración y evaluación de estos estudios (ANLA, 2024). Esta problemática no solo obstaculiza la ejecución de proyectos prioritarios, sino que también pone en riesgo la estabilidad energética del país, particularmente en áreas como la capital, donde el Grupo Energía Bogotá ha advertido sobre un posible apagón debido a retrasos en el licenciamiento y la falta de infraestructura adecuada (Blu Radio, 2024).

La creciente demanda energética, que ha experimentado un aumento del 59.1% en sectores industriales, domésticos y empresariales en regiones como el centro del país (ENEL Colombia, 2022), intensifica la urgencia de abordar estas deficiencias. Sin embargo, factores como la ambigüedad en los términos de referencia, la limitada capacidad técnica de las consultoras, y la insuficiente articulación entre los actores involucrados, han resultado en estudios de impacto ambiental que no cumplen con las expectativas normativas ni científicas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Frente a este contexto, surge la necesidad de diseñar estrategias que permitan mejorar la calidad de los EIA, optimizando los tiempos y costos del proceso de licenciamiento ambiental y reduciendo los riesgos de rechazo. Este proyecto busca analizar las principales falencias identificadas en los estudios archivados y proponer soluciones que fortalezcan la sostenibilidad de los proyectos energéticos, fomenten una mejor interacción con las comunidades, y promuevan un desarrollo responsable del sector eléctrico en Colombia.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

El desarrollo de proyectos energéticos en Colombia enfrenta desafíos significativos debido a la deficiencia en la calidad de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), lo que genera tasas elevadas de archivo o licenciamiento parcial por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Entre 2019 y 2024, varios proyectos de infraestructura energética fueron archivados por razones como deficiencias técnicas en los estudios presentados o decisiones administrativas relacionadas con inconsistencias documentales (ANLA, 2024). Este problema no solo obstaculiza el desarrollo de proyectos clave, sino que también pone en riesgo la estabilidad del suministro energético en el país.

La falta de infraestructura energética necesaria, como líneas de transmisión y subestaciones, agrava el panorama. El Grupo de Energía de Bogotá (GEB) ha advertido sobre un posible apagón en la capital debido a las dificultades para obtener los permisos requeridos, lo que impide la ejecución de proyectos esenciales (Blu Radio, 2024). Las comunidades y autoridades locales suelen oponerse a estas iniciativas por razones estéticas o ambientales, en muchos casos sin fundamentos técnicos claros, lo que exacerba la situación.

La creciente demanda energética, impulsada por un incremento del 59.1% en el consumo industrial, doméstico y empresarial en regiones como el centro del país, subraya la urgencia de fortalecer la capacidad de transmisión y generación de energía (ENEL Colombia, 2022). Este aumento en la demanda está acompañado de una disminución en indicadores de calidad del servicio, como el SAIDI (System Average Interruption Duration Index), que mide la duración promedio de interrupciones en el suministro eléctrico. La falta de infraestructura adecuada para satisfacer esta demanda pone en riesgo el desarrollo económico y social del país.

Uno de los principales obstáculos para el licenciamiento ambiental es la ambigüedad en los términos de referencia para los EIA, lo que permite interpretaciones diversas entre los funcionarios responsables de su evaluación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Estas discrepancias generan incertidumbre en las empresas consultoras y dificultan la preparación de estudios que cumplan con las expectativas de las autoridades ambientales.

La calidad deficiente de los EIA puede atribuirse a diversos factores, como la falta de capacitación técnica de las consultoras ambientales, la ausencia de metodologías estandarizadas y la escasa coordinación entre

las partes interesadas. Identificar estas falencias y desarrollar planes de acción concretos no solo optimizaría los tiempos y costos asociados al licenciamiento ambiental, sino que también permitiría reducir los conflictos con las comunidades y garantizar la sostenibilidad de los proyectos.

La mejora en la calidad de los EIA beneficiaría a todos los actores involucrados. Para las empresas, implicaría una mayor tasa de aprobación de proyectos y menores costos en procesos administrativos. Para las autoridades ambientales, significaría una reducción en los tiempos de evaluación y mayor confianza en la mitigación de impactos negativos. Finalmente, para las comunidades, garantizaría que los proyectos respeten su entorno y promuevan un desarrollo equilibrado.

En resumen, abordar las falencias en los EIA y el proceso de licenciamiento es fundamental para garantizar una infraestructura energética adecuada que responda a las demandas crecientes y que promueva un desarrollo sostenible en Colombia.

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cómo pueden las empresas y consultoras ambientales mejorar la calidad de los estudios de impacto ambiental para garantizar la aprobación eficiente de proyectos energéticos y reducir los riesgos de rechazo por parte de las autoridades ambientales en Colombia?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer estrategias para mejorar la calidad de los estudios de impacto ambiental elaborados por empresas y consultoras ambientales, con el fin de garantizar la aprobación eficiente de proyectos energéticos y reducir los riesgos de rechazo por parte de las autoridades ambientales en Colombia

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar los trámites de licenciamiento ambiental archivados, identificando las causas principales de su archivo y evaluando su impacto en el desarrollo de proyectos energéticos en Colombia.

- Analizar las interpretaciones y criterios utilizados por las autoridades ambientales en la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), para comprender las discrepancias y ambigüedades que dificultan la aprobación de proyectos.

#### **1.4 Justificación de la investigación**

Actualmente, el resultado de los estudios de impacto ambiental, no ha dado los resultados esperados por las autoridades ambientales, lo que ha llevado al archivo, o licenciamiento parcial de los proyectos. Este malestar ya ha llevado a que algunas empresas como el Grupo de Energía de Bogotá - GEB, alerte sobre el inminente apagón que puede sufrir la capital de país a causa de las dificultades que han venido enfrentando para obtener permisos necesarios, la oposición de la autoridades y las comunidades al desarrollo de los proyectos de transmisión de energía por motivos estéticos y preocupaciones ambientales sin fundamentos han llevado a que en la actualidad no se cuente con la infraestructura necesaria para transmitir la energía al centro del país (Blu radio, 2024).

Para el actual crecimiento en el desarrollo y bienestar de la región se demanda aun aumento en el consumo de energía eléctrica, por lo cual se dé un crecimiento proporcional en los sistemas de abastecimiento de energía (ENEL Colombia, 2022). ENEL Colombia para la región occidental del del centro del país por ejemplo (Mosquera, Funza,) identifican un crecimiento en industrias, hogares y empresas, con un crecimiento del 59.1% entre otras, para lo cual se ha identificado la necesidad de aumentar la capacidad energética de la región. EL objetivo es el de garantizar la calidad y continuidad en el servicio en sectores donde se evidencia una alta demanda y una baja en indicadores como el SAIDI, que miden la duración media de fallas y cantidad media de fallas al año.

Aunque se presenten términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental, estos pueden presentar ambigüedades que generan diferentes interpretaciones dependiendo de los funcionarios de la autoridad que los evalué, por lo cual se hace necesario establecer esos parámetros de referencia que están determinado las autoridades al momento de evaluar los estudios

Conocer las principales falencias para las empresas y consultoras ambientales a cargo de desarrollar los estudios de impacto ambiental es fundamental para desarrollar las estrategias que permitan minimizar los riesgos de archivo en los proyectos, establecer planes de acción y metodologías que permitan subsanar las problemáticas evidenciadas. Establecer adecuados planes de acción partir de la identificación de falencias, permitirá disminuir tiempo y costos en el licenciamiento ambiental, además de evitar multas y sanciones por el incumplimiento en las entregas y aprobación de los proyectos ante las autoridades ambientales. Por

otro lado, para la autoridad ambiental, encargada de revisar los estudios ambientales, recibir estudios de mejor calidad, no solo disminuirá los tiempos en los tramites de licenciamiento, si no también, que la calidad de los mismos subsanen todos los posibles impactos que pueden generar ambiental y socialmente.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Marco de antecedentes

Tramitar una licencia ambiental para cualquier proyecto es indispensable para el desarrollo del mismo, sin embargo, puede ser un proceso tedioso, tardío y engorroso. Para el 2021, a nivel latinoamericano, solamente cerca del 55% de los proyectos fueron aprobados (Sánchez, 2023).

En países como Chile, en el año 2021, 936 proyectos fueron ingresados a Evaluación Ambiental y solamente 521 de ellos fueron aprobados, entre los motivos del rechazo se encuentra la falta de documentación completa, no cumplir con los requisitos, entre otras (Sánchez, 2023). El doctor Astorga (2023), también responsabiliza los plazos de tramitación, la baja de los estudios y declaraciones, la falta de antecedentes técnicos y la pobreza en la oferta de los titulares sobre las medidas de mitigación, reparación y compensación.

Los estudios de impacto ambiental hacen parte de los instrumentos básicos desarrollados por el estado para la toma de decisiones acerca de la viabilidad socio-ambiental de los proyectos, obras o actividades en el país, estos estudios son el fundamento para otorgar o negar las licencias ambientales necesarias para que se construya un proyecto (ANLA – MADS, 2018; Asuntos Legales, 2019).

La licencia ambiental es el instrumento por el cual la autoridad ambiental competente otorgar la ejecución de un proyecto, obra o actividad de acuerdo con la reglamentación del país (decreto 1076 de 2015) (MADS, 2022). Los proyectos en general descritos en el marco del licenciamiento ambiental, generan una serie de impactos ambientales significativos en los recursos naturales con un posible deterioro ambiental (CAR, 2024), por lo cual el desarrollo de los estudios ambientales tiene como objetivo, prevenir, mitigar y/o compensar los efectos generados en el medio ambiente, de manera que, se contribuya al desarrollo de país si afectar de manera significativa los recursos naturales y la supervivencia de las generaciones futuras (ANLA, 2023; Londoño et al., 2006).

Aunque se presenten metodologías y/o términos de referencia para desarrollar estos estudios, Martínez (2012), en la revisión de 30 EIAs, identifico carencias de una metodología estandarizada, entre las inconsistencias pudo establecer 10 causas de incertidumbre en los procesos, entre las que se encuentra el uso de metodologías subjetivas que pueden ser modificadas. Sobre las bases de la evaluación ambiental, Martínez identifico múltiples modificaciones donde eran excluidos elementos, se presentaban errores matemáticos que impedían la evaluación objetiva. En estos casos algunos impactos eran subvalorados,

asociados a categorías no correspondientes, afirmaciones graves dado que a partir del resultado de estos impactos se establecen las medidas de manejo ambiental en los proyectos.

Entre otras causas identificadas además de los problemas metodológicos, se resalta la modificación frecuente de la normatividad, el bajo nivel de conocimiento técnico de las comunidades y el corto tiempo del que se dispone para elaborar los estudios ambientales (Martínez, 2012). Por otro lado, el reducido tiempo en la toma de decisiones por la autoridad, la ausencia de un registro nacional de evaluadores que garantice la competencia del personal que evalúa los estudios y la falta de mecanismos y recursos (económicos, humanos y técnicos) necesarios para el seguimiento y control.

El trabajo publicado por Soto et al (2018), en un análisis comparativo donde se evaluaron las metodologías de evaluación de impacto ambiental en diferentes proyectos, en el sector vial en Colombia. Identificaron entre los métodos más comunes el de Leopold en la etapa de identificación, el método de Arboleda en la etapa de identificación y el método de Ad-Hoc en la etapa de evaluación; que desconocen la fragmentación del paisaje o el sinergismo de algunos impactos.

Otras aproximaciones a la calidad de los estudios de impacto ambiental en el sector de infraestructura de transporte están asociadas según Bautista (2019) a:

- Falta de rigor en las metodologías de evaluación ambiental
- Las debilidades en el tratamiento y validez de la información secundaria o de las escalas de trabajo
- Subjetividad en la valoración de impactos socioeconómicos en comparación con los evaluados en el medio físico y biótico.
- El surgimiento y fortalecimiento de instrumentos de gestión ambiental sectorial y los vacíos de los términos de referencia e instrumentos como la Metodología para la Presentación y Elaboración de Estudios Ambientales -MPEA (2018). A lo anterior, se suman algunos factores indirectos que son influyentes en la calidad de los estudios ambientales:
- Disminución descontextualizada en los tiempos del proceso de licenciamiento ambiental
- Falta de reglamentación sobre quienes elaboran los estudios ambientales; falencias en la línea base ambiental promovida por las autoridades ambientales, observando debilidades en los sistemas de información ambiental; y las necesidades del fortalecimiento tanto de la participación ciudadana como de la institucional.

- Falta de recurso humano y procesos contractuales de quienes evalúan los estudios
- Falta de participación pública durante la evaluación de los proyectos

Si bien, estos vacíos que llevan al archivo de los proyectos de infraestructura se abordan desde la oposición de las comunidades, también, se deben involucrar todos esos aspectos técnicos de los estudios que no permiten tener total certeza del estado actual del territorio (interpretación de coberturas insumo principal para elaborar la líneas bases) y del mismo modo, establecer los posibles impactos asociados a su desarrollo, y que al final, permitan a las mismas comunidades y a la autoridad ambiental a partir de documentos rigurosos tomar decisiones acertadas. Aunque, no se identifique recientemente tal problemática, tal vez asociado a las políticas del actual gobierno.

Entre algunos ejemplos, se encuentra el proyecto UPME 01 DE 2013 “SUBESTACIÓN NORTE 500 kV Y LINEAS DE TRANSMISION NORTE - TEQUENDAMA 500 kV Y NORTE - SOGAMOSO 500 kV), COMO PRIMER REFUERZO DE RED 500 kV DEL ÁREA ORIENTAL”, localizado en jurisdicción de los departamento de Santander; Boyacá; Cundinamarca, cuyo fin es transportar la energía a un voltaje de 500kV desde la subestación Sogamoso ubicada en Betulia Santander, hasta las subestaciones Norte en Gachancipá y Nueva Esperanza ubicada en San Antonio del Tequendama. El estudio de impacto ambiental empezó a ejecutarse en el año 2016, pero fue hasta el año 2020, mediante la resolución 1326 de 05 de agosto de 2020 la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, otorgo la licencia ambiental y adopto otras determinantes, en la que se introdujeron restricciones en la zonificación de manejo ambiental (sectorización de áreas donde se permiten o no hacer actividades enmarcadas en la licencia) y negó cerca del 80% del aprovechamiento forestal (tramite necesario donde se requiere la tala de árboles para abrir espacio y construir las torres de transmisión de energía), lo anterior llevo a que se inmovilizará más del 70% del proyecto.

Otro estudio de referencia corresponde al proyecto “UPME 10 – 2019 CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN RÍO CÓRDOBA – BONDA (TERMOCOL) 220 KV. TRAMO DOS (2)”, localizado en los municipios Ciénaga y Santa Marta, en el departamento de Magdalena, proyecto archivado mediante el Auto No 4008 del 05 de junio de 2023, sobre el cual se da por cancelado el trámite de licenciamiento ambiental.

Los estudios mencionados, no solo reflejan la rigurosidad con las que las autoridades competentes evalúan en la actualidad los estudios ambientales, si no, también refleja un preocupante vacío en la generación de los mismos, dado que no están aportando las herramientas suficientes para viabilizar los proyectos, y

además de generar impactos significativos social y ambientalmente, están frenando el desarrollo del país en términos energéticos, panorama que se ve agravado con el aumento de la demanda de este recurso.

Entre algunas estrategias La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), en colaboración con el Ministerio de Minas, la Unidad de Planeación Minero energética (UPME), la Asociación Colombiana de Petróleos (ACP) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), ha realizado estrategias como el “Taller de Fortalecimiento de Capacidades en la Elaboración de Estudios Ambientales”. En ese sentido, se pretende mejorar la calidad de los estudios de impacto ambiental presentados ante la Autoridad, con el fin de fortalecer el proceso de licenciamiento ambiental, donde se brinda a los participantes, información técnica de primera mano, que permita reducir los errores más comunes a la hora de la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) (Sandoval , 2023).

## **2.2. Marco Teórico**

El marco teórico del proyecto aborda los conceptos fundamentales relacionados con los estudios de impacto ambiental (EIA), el licenciamiento ambiental, la calidad técnica y metodológica de estos estudios, así como los desafíos específicos del sector energético en Colombia. Estos elementos se desarrollan a continuación:

### **Estudios de Impacto Ambiental (EIA)**

Los EIA son instrumentos técnicos y normativos diseñados para identificar, predecir, valorar y mitigar los impactos ambientales de proyectos, obras o actividades. Según la Ley 99 de 1993, en Colombia, los EIA son requisitos obligatorios para el licenciamiento ambiental de proyectos que puedan generar efectos significativos sobre el medio ambiente. Entre los componentes se incluyen el Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) que evalúa las diferentes opciones de ubicación, diseño o tecnología de un proyecto para identificar la alternativa más adecuada desde un punto de vista ambiental. Estudio de línea base o caracterización ambiental que recopilan y analizan la información ambiental, social y económica previa al desarrollo del proyecto. La Evaluación de impactos que determina los efectos potenciales del proyecto sobre los componentes ambientales y sociales. El Plan de manejo ambiental (PMA) quien define las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos identificados. Todos estos componentes son esenciales para prever posibles conflictos con comunidades, garantizar la sostenibilidad ambiental y cumplir con las normativas legales (FNA, 2011)

El licenciamiento ambiental es el proceso mediante el cual las autoridades ambientales otorgan permisos a proyectos que cumplen con los requisitos establecidos en los términos de referencia. Este proceso está regulado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y los entes territoriales. Para los cuales se listan tres (3) fases en el proceso:

- Solicitud y presentación del EIA: Las empresas presentan el estudio para evaluación.
- Evaluación técnica: La autoridad verifica que el EIA cumpla con los estándares requeridos.
- Decisión: Se otorga, condiciona o rechaza la licencia.

La calidad de un EIA depende de su capacidad para identificar correctamente los impactos, proponer medidas efectivas y cumplir con los estándares normativos. Se deben cumplir criterios técnicos, legales y sociales:

- Técnicos: Precisión en el diagnóstico, herramientas utilizadas y metodología de evaluación.

- Legales: Alineación con los términos de referencia y normativas ambientales.
- Sociales: Inclusión de la participación comunitaria y gestión de conflictos.

La no articulación de los criterios anteriores puede traer en consecuencias estudios deficientes que como resultado llevarán al rechazo o archivo de proyectos, incremento de costos y tiempos en el proceso de licenciamiento y/o sanciones legales y pérdida de confianza por parte de las comunidades y autoridad ambiental.

Entre los documentos más relevantes en los estudios de impacto ambiental, se encuentran el uso adecuado de técnicas de inventario y monitoreo ambiental, esencial para desarrollar líneas base robustas. En este sentido, el manual de Angulo et al. (2006) proporciona directrices específicas, enfocándose en la biodiversidad y las interacciones entre los ecosistemas. De manera complementaria, Calderón et al. (2005) destacan la importancia de inventarios detallados de especies endémicas y amenazadas que son componentes críticos en la evaluación ambiental, y que ayudan a determinar los impactos ambientales. De tal manera que la elección y practica coordinada de las metodologías que hacen parte de estos estudios permitirán tener una buena base, que permita tomar decisiones en la evaluación.

La evaluación de impactos acumulativos y la valoración de los servicios ecosistémicos son fundamentales en los EIA. La guía metodológica de Conesa (2010) y el trabajo de Gómez Orea (2002) destacan la importancia de incorporar variables como la calidad del aire, el agua, el suelo, y la biodiversidad en una evaluación holística. Estas metodologías deben considerar también los impactos ecológicos menos evidentes, como los "impactos enigmáticos", que según Raiter et al. (2014) pueden pasar desapercibidos en análisis convencionales, y sobre los cuales se suelen subestimar los impactos ambientales en los proyectos enmarcados en licenciamiento ambiental.

La zonificación ambiental es un componente clave en los EIA, permitiendo identificar áreas críticas y de amortiguamiento. Conesa (2010) destaca que la zonificación debe basarse en análisis detallados de uso del suelo y criterios geomorfológicos como los propuestos por Carvajal (2012). Además, Bodin y Saura (2010) enfatizan el uso de modelos de conectividad para identificar áreas prioritarias de conservación, asegurando la funcionalidad de los corredores ecológicos.

Herramientas SIG avanzadas, como las utilizadas en el mapa de ecosistemas continentales y costeros de Colombia (IDEAM et al., 2017), proporcionan una base sólida para realizar una planificación más precisa y eficiente. La integración de estos enfoques asegura que las decisiones sean sustentadas por datos actualizados y representativos del territorio. De manera que, los estudios ambientales se establecen a partir

de una serie de pasos y etapas coordinadas, para lo cual se aplican de manera paralela estándares que permiten minimizar las falencias de los estudios.

En términos de estándares internacionales, la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001 establece requisitos para los sistemas de gestión ambiental, facilitando la integración de las mejores prácticas en la planificación y ejecución de proyectos (ICONTEC, 2015). Por otro lado, el API Recommended Practice 1160 enfatiza la importancia de gestionar la integridad de los sistemas en proyectos que involucren riesgos ambientales significativos, como los oleoductos (API, 2013).

Por otro lado, la tecnología desempeña un papel crucial en la mejora de los EIA. El uso de imágenes satelitales, drones y herramientas SIG permite una recopilación de datos más precisa y la identificación de áreas sensibles en etapas tempranas del proyecto. Según Villanueva y Santos (2020), estas herramientas han optimizado la clasificación de coberturas y la evaluación de cambios en el uso del suelo en proyectos renovables en España. Asimismo, los algoritmos de aprendizaje automático han demostrado ser efectivos para analizar grandes volúmenes de datos geospaciales, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de procesamiento (Da Silva & Mendes, 2021).

La incorporación de enfoques de gerencia de proyectos, como PMBOK y PRINCE2, puede mejorar significativamente la planificación, ejecución y control de los EIA. Según el Project Management Institute (2021), el uso de herramientas de gestión permite definir claramente los objetivos, asignar recursos eficientemente y establecer cronogramas realistas, lo que minimiza riesgos y asegura el cumplimiento de normativas.

El marco de trabajo ágil Scrum también ha demostrado ser útil en proyectos ambientales, promoviendo iteraciones rápidas y entregas incrementales. Heras del Dedo y Álvarez García (2017) señalan que Scrum facilita la gestión colaborativa entre equipos multidisciplinarios, lo que resulta esencial en estudios que involucran componentes ambientales, sociales y técnicos. Asimismo, la integración de indicadores de desempeño, como el SAIDI (System Average Interruption Duration Index), puede ser utilizada para monitorear la efectividad de los planes de manejo ambiental (ENEL Colombia, 2022).

### 2.3. Marco normativo

En Colombia, el desarrollo y evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), así como los procesos de licenciamiento ambiental, están regulados por un marco normativo robusto, diseñado para garantizar la protección ambiental y el desarrollo sostenible. A continuación, se describen las normativas más relevantes:

#### ✓ **Constitución Política de Colombia (1991)**

La Constitución establece los fundamentos legales para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible en el país.

- **Artículo 79:** Todos los ciudadanos tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y el Estado debe garantizar su protección.
- **Artículo 80:** El Estado está obligado a planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible.

#### ✓ **Ley 99 de 1993**

Es la principal norma ambiental en Colombia, que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y definió las bases del licenciamiento ambiental.

- **Creación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA):** Entidad encargada de la evaluación, trámite y otorgamiento de licencias ambientales.
- **Regulación del uso y aprovechamiento de los recursos naturales:** Establece los principios y requisitos para el desarrollo de actividades que puedan generar impactos ambientales.

#### ✓ **Decreto 2041 de 2014**

Regula específicamente el proceso de licenciamiento ambiental en Colombia.

- **Términos de referencia para EIA:** Define los requisitos mínimos que deben cumplir los estudios según el tipo de proyecto.
- **Procedimientos para la evaluación:** Detalla las etapas de solicitud, evaluación y decisión de licencias ambientales.
- **Seguimiento y control:** Establece las responsabilidades de las autoridades ambientales para el monitoreo de proyectos licenciados.

✓ **Resolución 0751 de 2021**

Establece los términos de referencia generales para la elaboración de EIA en proyectos específicos.

- **Guías metodológicas:** Proporciona lineamientos para la identificación y valoración de impactos ambientales.
- **Requisitos específicos:** Incluye aspectos técnicos, sociales y económicos que deben abordarse en los estudios.

✓ **Decreto 1076 de 2015**

Compila las disposiciones ambientales en Colombia y organiza las normativas en un solo documento.

- **Instrumentos de gestión ambiental:** Incluye regulaciones sobre licencias ambientales, planes de manejo y permisos de uso de recursos.
- **Responsabilidades de las autoridades ambientales:** Define las competencias de las entidades territoriales y nacionales.

✓ **Resolución 1517 de 2012**

Regula el uso de herramientas geográficas y la estandarización de datos en los EIA.

**Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Obliga a las empresas a utilizar SIG para garantizar precisión y consistencia en la información presentada.

✓ **Ley 388 de 1997**

Relacionada con el ordenamiento territorial, esta norma influye en la planificación de proyectos que requieren licenciamiento ambiental.

- **Integración de variables ambientales en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT):** Establece que los proyectos deben alinearse con las prioridades de desarrollo territorial sostenible.

✓ **Ley 1333 de 2009**

Introduce el régimen sancionatorio ambiental en Colombia.

- **Sanciones por incumplimiento:** Define multas y medidas administrativas para quienes infrinjan las normativas ambientales, incluyendo la presentación de EIA deficientes.
- ✓ **Directrices del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**

El Ministerio de Ambiente publica guías y manuales para la evaluación y elaboración de EIA. Entre las más relevantes:

- Guía para la elaboración de diagnósticos ambientales de alternativas (DAA).
- Lineamientos para el uso de herramientas de modelación en la evaluación de impactos ambientales.
- ✓ **Convenios Internacionales Ratificados por Colombia**

Colombia es parte de varios acuerdos internacionales que influyen en la normatividad ambiental:

- **Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB):** Promueve la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en proyectos de desarrollo.
- **Acuerdo de Escazú:** Garantiza la participación pública, el acceso a la información ambiental y la justicia en asuntos ambientales.

El análisis del marco normativo que regula los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y los procesos de licenciamiento ambiental en Colombia revela un conjunto robusto de disposiciones diseñadas para equilibrar el desarrollo económico con la sostenibilidad ambiental. La Constitución Política de 1991, a través de los artículos 79 y 80, establece los pilares fundamentales de la protección ambiental, garantizando el derecho a un ambiente sano y la obligación del Estado de planificar el uso sostenible de los recursos naturales. Estas disposiciones se complementan con la Ley 99 de 1993, que consolidó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) que creó la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), permitiendo una estructura institucional que promueve la gestión ambiental.

Sin embargo, la implementación de estas normativas enfrenta retos significativos. Aunque el Decreto 2041 de 2014 y la Resolución 0751 de 2021 definen con claridad los términos de referencia y procedimientos para los EIA, en la práctica persisten ambigüedades en la interpretación de los requisitos técnicos. Estas inconsistencias generan diferencias en la calidad de los estudios y en las decisiones tomadas por las autoridades ambientales, lo que resulta en un alto

porcentaje de proyectos archivados o licenciados parcialmente. La Resolución 1517 de 2012, que obliga al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para garantizar precisión en los datos, ha sido un avance importante, pero su implementación requiere mayor supervisión técnica y capacitación de los actores involucrados.

Por otro lado, la integración de los EIA con los planes de ordenamiento territorial, como lo exige la Ley 388 de 1997, sigue siendo limitada. Este desalineamiento entre los proyectos de desarrollo y las prioridades de sostenibilidad territorial dificulta la evaluación de los impactos acumulativos y compromete la efectividad de las medidas de mitigación. Además, aunque la Ley 1333 de 2009 establece un régimen sancionatorio para quienes infrinjan las normativas ambientales, las sanciones no siempre resultan disuasorias, especialmente cuando los incumplimientos derivan de deficiencias estructurales en los términos de referencia.

La adhesión de Colombia a convenios internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y el Acuerdo de Escazú fortalece el marco normativo al integrar principios de participación pública, acceso a la información ambiental y conservación de la biodiversidad. Sin embargo, la implementación de estos acuerdos enfrenta barreras operativas, especialmente en términos de garantizar la participación efectiva de las comunidades locales en los procesos de evaluación y toma de decisiones.

A la luz de estos desafíos, la normativa colombiana ofrece un marco sólido que necesita ajustes operativos y metodológicos para garantizar su efectividad. Clarificar los términos de referencia, fortalecer la capacidad técnica de la ANLA y promover el uso de tecnologías avanzadas como SIG y drones son pasos necesarios para mejorar la calidad de los EIA. Además, la implementación efectiva de los principios del Acuerdo de Escazú y el CDB es crucial para asegurar que los procesos de licenciamiento ambiental sean inclusivos, transparentes y efectivos en la protección del medio ambiente. Con estas mejoras, el marco normativo colombiano podrá consolidarse como una herramienta efectiva para garantizar el desarrollo sostenible en el contexto de los proyectos de infraestructura eléctrica.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque y alcance de la investigación**

La investigación adopta enfoque cualitativo con alcance descriptivo y propositivo, orientado a identificar las falencias en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y desarrollar estrategias para su mejora. La población incluye empresas consultoras, autoridades ambientales, comunidades afectadas y proyectos energéticos recientes (últimos 5 años) en Colombia.

Se emplearán análisis documental y revisión de indicadores como instrumentos de recolección de información. El proceso consta de cuatro fases: planeación, recolección de información, análisis de datos y diseño de propuestas

La investigación se centra en un enfoque cualitativo mediante la revisión documental, con el objetivo de analizar datos objetivos relacionados con los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y el proceso de licenciamiento ambiental en Colombia. Este enfoque permitirá identificar patrones, tendencias y métricas clave sobre la calidad de los estudios y la eficiencia de los trámites, basándose en información oficial y registros históricos. La revisión documental tiene un alcance descriptivo, ya que busca caracterizar los tiempos, costos, indicadores de calidad y tasas de rechazo de EIA en proyectos energéticos, así como identificar falencias recurrentes en la elaboración de los estudios y su evaluación por parte de las autoridades ambientales.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Definición de la población**

Población: Todos los Estudios de Impacto Ambiental archivados para proyectos de infraestructura energética en Colombia en los últimos 5 años.

### **3.2.2. Cálculo y selección de la muestra**

Muestra: Se seleccionarán un total de nueve (9) estudios de proyectos energéticos sometidos a licenciamiento ambiental, el cual corresponden a la totalidad de estudios reportados por la autoridad ambiental. Lo anterior considerando la diversidad regional y los diferentes estados del trámite (aprobados, rechazados y archivados).

### **3.3. Instrumento(s)**

Análisis de documentos oficiales:

Estudios de Impacto Ambiental (EIA) aprobados, rechazados y archivados.

- Informes técnicos emitidos por las autoridades ambientales (ANLA y CAR).
- Términos de referencia aplicables a proyectos energéticos.
- Normativas y guías metodológicas para la elaboración de EIA.

### **3.4. Descripción de procedimientos**

Se desarrollarán cuatro (4) fases, Planeación. Recolección de información, análisis de datos y síntesis:

- Definición de los criterios para seleccionar los EIA a analizar: Identificación de las fuentes documentales oficiales (bases de datos de ANLA, CAR y empresas consultoras).
- Fase de Recolección de Información: Compilación de EIA y documentos asociados, y sistematización de datos relevantes mediante una matriz de análisis documental.
- Fase de Análisis de Datos: Procesamiento estadístico de los datos recolectados para identificar patrones y métricas relevantes. Comparación de los resultados entre diferentes proyectos y regiones.
- Fase de Síntesis y Propuesta: Identificación de falencias técnicas recurrentes y propuestas de mejora en la calidad de los EIA.

Finalmente, elaboración de un informe que sintetice los hallazgos y presente recomendaciones para optimizar el proceso de licenciamiento ambiental.

### **3.5. Análisis de información**

#### **3.5.1. Análisis de datos recolectados y codificación**

Los datos provienen de la respuesta de la ANLA a un derecho de petición y consultas en la página de la autoridad, en la que se especifican expedientes de licencias ambientales archivadas en el sector de energía durante el período 2019-2024. Los datos fueron organizados y categorizados de la siguiente manera:

#### **3.5.2. Datos recolectados**

##### **Categorías de los datos:**

1. Identificación del Proyecto:
  - Número de expediente
  - Nombre del proyecto
  - Solicitante
2. Decisión administrativa
  - Tipo de instrumento: Licencia ambiental
  - Motivo del archivo: Decisión o desistimiento
  - Auto de archivo: Número y fecha.
3. Características del proyecto
  - Tipo de proyecto: Línea de transmisión, subestaciones, generación de energía fotovoltaica, etc.
  - Ubicación: Departamento y municipio.
4. Diagnostico para los siguientes capítulos EIA
  - Área de influencia

- Línea base medio abiótico
- Línea base medio biótico
- Línea base medio socioeconómico
- Zonificación ambiental
- Evaluación ambiental
- Planes de manejo ambiental
- Aprovechamiento forestal y demanda de recursos
- Interpretación de coberturas
- Cartografía base

**Origen y recolección:**

- Los datos se recopilieron directamente de la respuesta oficial de la ANLA y búsqueda en la página oficial, consolidada en un archivo PDF.
- Fueron sistematizados en una base de datos para facilitar el análisis estadístico y comparativo

**Limpieza y Preparación de los Datos**

- Se eliminaron duplicados o inconsistencias en la información.
- Los proyectos fueron clasificados por región geográfica y tipo de infraestructura.
- Se generó una base estandarizada con campos específicos.

**3.5.3. Codificación de datos**

La codificación se realizó mediante el software JASP para facilitar el análisis cualitativo. Este software es ideal para organizar y procesar grandes volúmenes de datos y permite generar análisis estadísticos descriptivos.

**Proceso de codificación:**

1. Los datos serán estructurados en un archivo CSV con las siguientes variables:
  - ID del proyecto: Identificador único.
  - Fecha de archivo: Año en que el proyecto fue archivado.
  - Tipo de proyecto: Energía fotovoltaica, transmisión, termoeléctrica, etc.
  - Región: Geolocalización del proyecto.

- Documentos: identificación de falencias en cada uno de los entregables que hacen parte de los estudios de impacto ambiental
2. En JASP, se aplicarán las siguientes opciones:
- Estadísticas descriptivas: Para calcular frecuencias, medias y distribuciones.
  - Gráficos: Visualización de patrones en motivos de archivo y tipos de proyectos más afectados.

### **3.6 Consideraciones éticas**

El desarrollo de esta investigación está guiado por principios éticos fundamentales que aseguran la integridad, transparencia y respeto hacia las partes interesadas involucradas. Estas consideraciones son esenciales para garantizar la validez y aceptación de los hallazgos, así como para evitar conflictos éticos en el manejo de la información y los análisis realizados.

En primer lugar, se respeta plenamente la confidencialidad de la información utilizada. Aunque los datos analizados provienen de fuentes oficiales y públicas, como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), se garantizará que no se utilicen de manera que puedan comprometer la privacidad de las personas o entidades involucradas en los proyectos. Los identificadores específicos de proyectos o solicitantes serán manejados únicamente con fines investigativos y no serán divulgados públicamente en el informe final sin autorización previa.

Además, la investigación se desarrolla con total transparencia en el manejo de los datos y las metodologías. Todas las decisiones relacionadas con la selección, recolección y análisis de información se documentan detalladamente, asegurando que puedan ser verificadas y replicadas por otros investigadores. Esto fomenta la validez científica del estudio y refuerza su credibilidad. Por otro lado, si bien el estudio no incluye interacciones directas con las comunidades, se reconoce su importancia en el contexto de los Estudios de Impacto Ambiental. Por ello, las propuestas derivadas de la investigación tendrán como objetivo final no solo mejorar la calidad de los EIA, sino también promover la equidad y la sostenibilidad en los procesos de licenciamiento ambiental.

## 4 RESULTADOS

Una vez realizada la búsqueda de estudios ambientales archivados, se identificaron un total de nueve (9) proyectos en esta categoría. La Tabla 1 describe una serie de proyectos energéticos llevados a cabo en diferentes regiones de Colombia entre 2019 y 2024, con enfoques en la transmisión, generación y distribución de energía mediante diversas tecnologías.

En 2019, el Grupo Energía Bogotá desarrolló el estudio de impacto ambiental para el proyecto La Virginia – Alférez 500 kV, destinado a la transmisión de energía a través de una línea de alta tensión de 500 kV en el área comprendida entre La Virginia y Alférez, Risaralda. Durante el mismo año, Seelig Road Group Inc emprendió el proyecto Termofrontier, enfocado en la construcción y operación de una unidad termoeléctrica a base de carbón en una zona minera del departamento de La Guajira, con el objetivo de generar energía eléctrica a partir de recursos fósiles.

Para 2022, se realizaron varios proyectos de gran importancia. La Electrificadora del Meta desarrolló la Subestación Suria – Santa Helena en Villavicencio, Meta, cuyo propósito fue establecer una conexión entre subestaciones eléctricas para reforzar la infraestructura energética en la región. Por su parte, Celsia Colombia llevó a cabo el proyecto Subestación Toluviejo y LT Asociadas en Toluviejo, Sucre, orientado a mejorar la capacidad de distribución energética mediante la construcción de una nueva subestación eléctrica y líneas de transmisión asociadas. En el mismo año, Eolos Energía avanzó en la construcción de los Parques Eólicos Beta y Alpha, ubicados en Cuestecitas, La Guajira, con el objetivo de generar energía renovable a través de aerogeneradores y conectarlos a la red eléctrica.

En 2023, Celsia Colombia continuó su labor en energías renovables con el proyecto Parque Eólico Camelias, también localizado en Cuestecitas, La Guajira, que consistió en la construcción de una línea de transmisión para conectar un parque eólico con la subestación de distribución energética. Por otro lado, el Grupo Energía Bogotá trabajó en la Línea Río Córdoba – Bonda, una infraestructura de transmisión de 220 kV diseñada para interconectar estaciones eléctricas en la región de Santa Marta, Magdalena. Asimismo, San Jorge Fotovoltaico SAS impulsó el proyecto San Jorge Fotovoltaico, que consistió en la instalación de un parque fotovoltaico de 135 MW en Cerromatoso, Córdoba, y su conexión a la subestación eléctrica.

Finalmente, en 2024, Grupo TW Solar implementó los Parques Solares Morrison y Turpiales, ubicados entre Río de Oro, Cesar, y Ocaña, Santander. Este proyecto se centró en la instalación de parques solares fotovoltaicos y su conexión a la red eléctrica mediante una línea de transmisión de alta capacidad de 500 kV, contribuyendo significativamente al aprovechamiento de la energía solar en el país.

**Tabla 1 Proyectos archivados en el sector energía durante los últimos 5 años**

Proyecto	Año	Entidad	Resumen	Ubicación
La Virginia – Alférez 500 kV	2019	Grupo Energía Bogotá	Proyecto de transmisión de energía a través de una línea de alta tensión de 500 kV.	La Virginia - Alférez, Risaralda
Termofrontier	2019	Seelig Road Group Inc	Construcción y operación de una unidad termoeléctrica con base a carbón en una zona minera.	Departamento de La Guajira
Subestación Suria – Santa Helena	2022	Electrificadora del Meta	Construcción y operación de una conexión entre subestaciones eléctricas para reforzar la infraestructura energética en la región.	Villavicencio, Meta
Subestación Toluviejo y LT Asociadas	2022	Celsia Colombia	Desarrollo de una nueva subestación eléctrica y líneas de transmisión asociadas para mejorar la capacidad de distribución energética.	Toluviejo, Sucre
Parques Eólicos Beta y Alpha	2022	Eolos Energía	Construcción de dos parques eólicos y su conexión a la red eléctrica.	Cuestecitas, La Guajira
Parque Eólico Camelias	2023	Celsia Colombia	Construcción y operación de una línea de transmisión que conecta un parque eólico con la subestación de distribución energética.	Cuestecitas, La Guajira
Línea Río Córdoba – Bonda	2023	Grupo Energía Bogotá	Construcción de una línea de transmisión de 220 kV para interconectar estaciones eléctricas en la región.	Santa Marta, Magdalena
San Jorge Fotovoltaico	2023	San Jorge Fotovoltaico SAS	Desarrollo de un parque fotovoltaico de 135 MW y su conexión a la subestación eléctrica.	Cerromatoso, Córdoba
Parques Solares Morrison y Turpiales	2024	Grupo TW Solar	Implementación de parques solares fotovoltaicos y su conexión a la red eléctrica mediante una línea de transmisión de alta capacidad (500 kV).	Río de Oro, Cesar - Ocaña, Santander

Fuente: Elaboración propia

Para determinar, las principales falencias en los entregables que hacen parte de los estudios de impacto ambiental, fueron seleccionado los capítulos de mayor relevancia establecidos en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). La Tabla 2 resume las observaciones sobre posibles falencias identificadas para cada uno de los proyectos archivados según los capítulos estándares de un EIA.

En el capítulo de Área de Influencia, se evidenciaron inconsistencias en la delimitación de las áreas afectadas directa e indirectamente, lo que impacta negativamente la precisión de los estudios. En el caso de La Virginia – Alférez 500 kV, se observó una delimitación poco clara, mientras que, en proyectos como Parques Eólicos Beta y Alpha y Parque Eólico Camelias, los impactos indirectos en avifauna y ecosistemas no fueron evaluados de manera adecuada.

En la Línea Base Medio Abiótico, la mayoría de los proyectos presentan datos incompletos o deficientes relacionados con calidad del aire, suelos y recursos hídricos. Por ejemplo, Termofrontier muestra carencias significativas en el análisis de recursos hídricos, y San Jorge Fotovoltaico no incluyó estudios detallados sobre calidad del suelo.

El capítulo de Línea Base Medio Biótico refleja la falta de inventarios de flora y fauna en casi todos los proyectos. Específicamente, los parques eólicos, como Beta y Alpha, no realizaron un análisis exhaustivo de las especies migratorias afectadas, lo que subestima los impactos en biodiversidad.

En cuanto a la Línea Base Medio Socioeconómico, los diagnósticos de las comunidades afectadas suelen ser superficiales o incompletos. Por ejemplo, Subestación Suria – Santa Helena no documentó los impactos sociales indirectos, y Parques Solares Morrison y Turpiales omitió información clave sobre la percepción comunitaria.

La Zonificación Ambiental también presenta problemas frecuentes, con delimitaciones inadecuadas de áreas críticas o de amortiguamiento. Subestación Toluviejo y LT Asociadas y Parques Eólicos Beta y Alpha ilustran estas deficiencias, afectando la planificación ambiental estratégica.

En la Evaluación Ambiental, se detectó la subestimación de impactos acumulativos e indirectos en la mayoría de los proyectos. Esto es especialmente relevante en Termofrontier, donde las emisiones contaminantes fueron mal calculadas, y en Línea Río Córdoba – Bonda, donde no se consideraron los riesgos para los ecosistemas.

Los Planes de Manejo Ambiental (PMA), en general, muestran estrategias insuficientes para mitigar impactos clave como la fragmentación del hábitat, la erosión y las colisiones de aves. Esto es evidente en Parque Eólico Camelias y Línea Río Córdoba – Bonda.

En cuanto al Aprovechamiento Forestal y Demanda de Recursos, se identificó la omisión de evaluaciones necesarias en la mayoría de los proyectos. San Jorge Fotovoltaico y Subestación Suria – Santa Helena no incluyeron análisis completos en este aspecto.

Finalmente, en Interpretación de Coberturas de la Tierra y Cartografía Base, se reportaron errores en la clasificación de coberturas vegetales y mapas desactualizados o de baja resolución en casi todos los proyectos, lo que afecta la precisión de los análisis espaciales, como se observa en La Virginia – Alférez 500 kV y Termofrontier.

**Tabla 2 Falencias identificadas en cada uno de los proyectos identificados acorde a los capítulos detallados en los términos de referencia:**

Proyecto	Área de Influencia	Línea Base Medio Abiótico	Línea Base Medio Biótico	Línea Base Medio Socioeconómico	Zonificación Ambiental	Evaluación Ambiental	Planes de Manejo Ambiental (PMA)	Aprovechamiento Forestal y Demanda de Recursos	Interpretación de Coberturas de la Tierra	Cartografía Base
<b>La Virginia – Alférez 500 kV</b>	Límites poco claros en la delimitación del área afectada.	Datos incompletos sobre calidad del aire y suelo.	Inventarios de flora y fauna insuficientes.	Diagnóstico incompleto de comunidades impactadas.	Mal delimitadas las áreas prioritarias de mitigación.	Impactos acumulativos no bien identificados.	Estrategias ineficientes para mitigar fragmentación.	No evaluó completamente la demanda de recursos.	Cobertura vegetal mal clasificada.	Escala cartográfica inadecuada para análisis detallado.
<b>Termofronter</b>	Falta de definición del área de amortiguamiento.	Información deficiente sobre recursos hídricos.	Carencia de estudios de biodiversidad.	Diagnóstico insuficiente de impacto en empleo local.	Zonificación inadecuada de áreas de operación.	Subestimación de emisiones contaminantes.	Falta de medidas claras para gestionar emisiones.	No se incluyó un análisis forestal necesario.	Coberturas no reflejan cambios recientes en uso del suelo.	Mapas desactualizados y con baja resolución.
<b>Subestación Suria – Santa Helena</b>	Áreas de influencia mal definidas para fuentes hídricas.	Información limitada sobre acuíferos y suelos.	Datos incompletos sobre vegetación y corredores faunísticos.	Impactos sociales indirectos no documentados.	Falta de zonificación precisa en áreas críticas.	Evaluación superficial de impactos en suelos y agua.	PMA no aborda correctamente manejo de suelos.	Carencia de evaluación forestal detallada.	Clasificación de coberturas con errores significativos.	Escasa integración de información georreferenciada.
<b>Subestación Toluviejo y LT</b>	Subestimación del área afectada por líneas de transmisión.	Deficiencia en evaluación de riesgo por erosión.	Falta de inventarios completos de especies nativas.	Carencia de diagnóstico sobre percepción comunitaria.	Zonificación ambiental incompleta en áreas sensibles.	Impactos indirectos sobre ecosistemas no evaluados.	Planes de manejo de fragmentación no suficientes.	Omisión de aprovechamiento de recursos forestales.	Análisis de coberturas poco detallado.	Mapas sin actualizaciones recientes.
<b>Parques Eólicos Beta y Alpha</b>	Áreas de influencia mal delimitadas para impactos en avifauna.	Deficiencia en estudios de corrientes de viento y suelo.	Insuficiente análisis sobre especies migratorias.	Diagnóstico social no incluye impactos en turismo.	Mal definida la zonificación de áreas de amortiguamiento.	Impactos acumulativos no completamente valorados.	Falta de medidas específicas para minimizar colisiones.	Demanda de recursos locales no calculada.	Coberturas no reflejan la realidad del ecosistema.	Base cartográfica sin precisión en las áreas clave.

Proyecto	Área de Influencia	Línea Base Medio Abiótico	Línea Base Medio Biótico	Línea Base Medio Socioeconómico	Zonificación Ambiental	Evaluación Ambiental	Planes de Manejo Ambiental (PMA)	Aprovechamiento Forestal y Demanda de Recursos	Interpretación de Coberturas de la Tierra	Cartografía Base
<b>Parque Eólico Camelias</b>	Falta de delimitación clara para efectos indirectos.	Información insuficiente sobre calidad del suelo.	No se incluyeron patrones de migración de aves.	Diagnóstico social superficial.	Zonificación inadecuada para áreas de alto impacto.	Subestimación de impactos sobre corredores ecológicos.	Medidas insuficientes para mitigar colisiones de aves.	Aprovechamiento forestal no documentado.	Coberturas no identifican áreas críticas.	Mapas de baja resolución geográfica.
<b>Línea Río Córdoba – Bonda</b>	No se evaluaron áreas de riesgo geológico.	Deficiencias en estudios de suelos y pendientes.	Inventario de especies incompleto.	Diagnóstico insuficiente de comunidades afectadas.	Falta de definición en áreas de protección ecológica.	Impactos indirectos en ecosistemas no documentados.	PMA con medidas insuficientes para evitar erosión.	No se consideró el aprovechamiento de recursos locales.	Clasificación de cobertura vegetal deficiente.	Mapas generales sin detalle necesario.
<b>San Jorge Fotovoltaico</b>	Falta de análisis sobre impacto indirecto en la zona de influencia.	Carencia de estudios de calidad del suelo.	Análisis limitado sobre vegetación en áreas vecinas.	Diagnóstico comunitario incompleto.	Zonificación ambiental no contempla áreas sensibles.	Impactos acumulativos en ecosistemas no evaluados.	Estrategias de compensación ambiental incompletas.	Evaluación forestal limitada.	Coberturas inexactas para predicción de impactos.	Cartografía sin actualizaciones recientes.
<b>Parques Solares Morrison y Turpiales</b>	Falta de evaluación de impactos indirectos en la zona.	Análisis insuficiente de suelos para instalaciones.	Datos incompletos sobre especies de flora afectadas.	No se incluyeron datos sobre percepción comunitaria.	Zonificación ambiental no incluye áreas críticas.	Impactos indirectos sobre biodiversidad mal documentados.	Medidas para erosión de suelos insuficientes.	Evaluación forestal inadecuada.	Coberturas desactualizadas.	Mapas con errores de escala.

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron múltiples deficiencias en los diferentes capítulos de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para los proyectos analizados. Para cada uno de los entregables, se desarrollaron diferentes categorías, con el fin de determinar el cumplimiento de diferentes criterios de aceptación. Estos elementos abarcan desde la introducción hasta aspectos técnicos avanzados, como la interpretación de coberturas y la cartografía base (Ver Tabla 3).

En la sección de Introducción de los proyectos analizados, se destacan elementos como el propósito y alcance del proyecto, el marco normativo aplicable, la justificación del estudio, los objetivos planteados y la claridad en el propósito del documento. Estas categorías establecen las bases conceptuales y normativas del estudio. La Descripción del Proyecto detalla los componentes principales del mismo, incluyendo la ubicación, las etapas del proyecto, la identificación de recursos, y los aspectos técnicos específicos. Este apartado proporciona un panorama detallado de las características y objetivos del proyecto en cuestión. En cuanto al Área de Influencia, se incluyen aspectos esenciales como la delimitación precisa, la representación cartográfica, la inclusión de áreas críticas, la evaluación de conectividad, y la justificación de límites. Este apartado busca definir el alcance espacial y la conectividad ambiental del proyecto. La Línea Base Abiótica aborda elementos técnicos como la calidad del aire, el estado de los suelos, los riesgos geológicos, las fuentes hídricas, y los métodos de recolección de datos. Estos aspectos son cruciales para evaluar los impactos en componentes no vivos del ambiente.

La Línea Base Biótica, por su parte, se enfoca en inventarios de flora y fauna, identificación de especies protegidas, análisis de corredores ecológicos, y metodologías de recolección, lo que permite entender y mitigar los efectos sobre la biodiversidad. En la Línea Base Socioeconómica, se evalúan aspectos relacionados con las comunidades, como su percepción del proyecto, los impactos económicos locales, la identificación de grupos vulnerables, y la evaluación de servicios públicos. Esta categoría considera los efectos sociales y económicos de la implementación del proyecto.

Otras secciones incluyen la Zonificación Ambiental, con categorías como áreas críticas, amortiguamiento, y representación cartográfica; la Evaluación Ambiental, que analiza impactos directos e indirectos, escenarios con y sin el proyecto, y metodologías de evaluación; y los Planes de Manejo Ambiental (PMA), enfocados en medidas de mitigación, restauración de ecosistemas, manejo de residuos, conservación de biodiversidad y estrategias de reforestación.

Finalmente, los apartados de Aprovechamiento Forestal, Interpretación de Coberturas, y Cartografía Base tratan temas específicos como el uso sostenible de recursos, cambios en el uso del suelo, clasificación de coberturas, validación en campo, escalas cartográficas y la actualización de mapas, que son esenciales para garantizar una evaluación ambiental adecuada y geográficamente precisa.

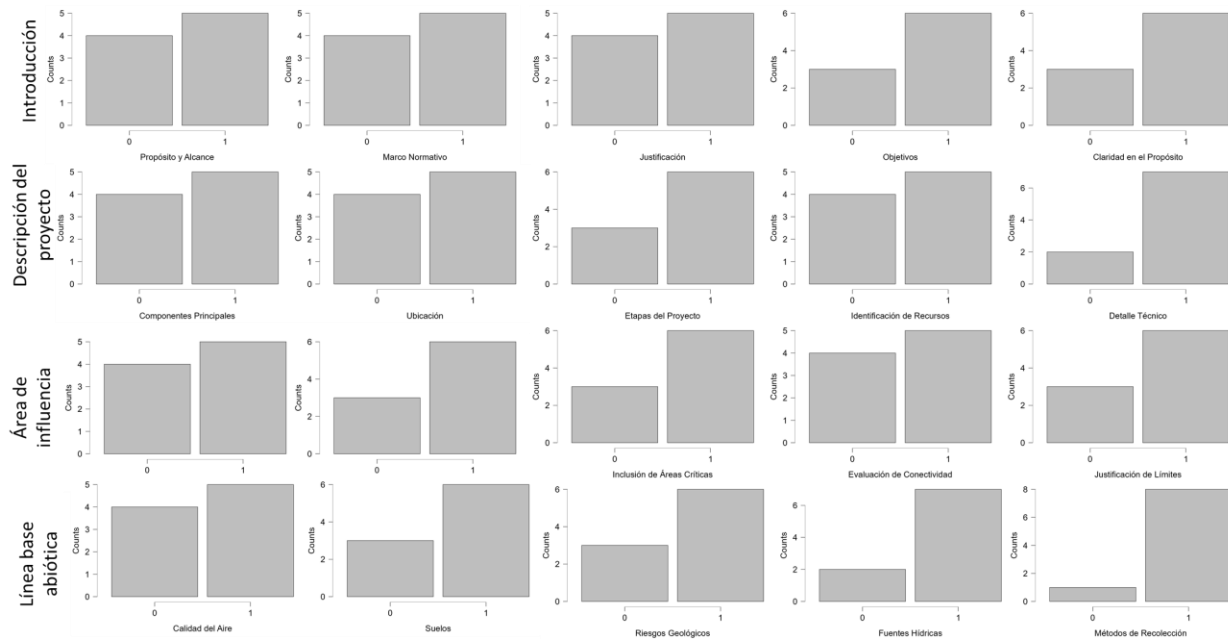
**Tabla 3 Criterio identificados por entregable de los EIAs**

Documento	Categoría	Documento	Categoría
Introducción	Propósito y Alcance	Zonificación Ambiental	Áreas Críticas
	Marco Normativo		Áreas de Amortiguamiento
	Justificación		Restricciones Normativas
	Objetivos		Representación Cartográfica
	Claridad en el Propósito		Justificación Técnica
Descripción del Proyecto	Componentes Principales	Evaluación Ambiental	Impactos Directos
	Ubicación		Impactos Acumulativos
	Etapas del Proyecto		Escenarios con el Proyecto
	Identificación de Recursos		Escenarios sin el Proyecto
	Detalle Técnico		Metodologías de Evaluación
Área de Influencia	Delimitación Precisa	Planes de Manejo Ambiental (PMA)	Medidas de Mitigación
	Representación Cartográfica		Restauración Ecosistemas
	Inclusión de Áreas Críticas		Manejo de Residuos
	Evaluación de Conectividad		Conservación de Biodiversidad
	Justificación de Límites		Estrategias de Reforestación
Línea Base Abiótica	Calidad del Aire	Aprovechamiento Forestal	Evaluación de Recursos Forestales
	Suelos		Normativas Cumplidas
	Riesgos Geológicos		Minimización de Impactos
	Fuentes Hídricas		Reforestación Planificada
	Métodos de Recolección		Uso Sostenible de Recursos
Línea Base Biótica	Inventario de Flora	Interpretación de Coberturas	Cambios en Uso del Suelo
	Inventario de Fauna		Mapas Temáticos Actualizados
	Identificación de Especies Protegidas		Clasificación de Coberturas
	Análisis de Corredores Ecológicos		Validación en Campo
	Metodologías de Recolección		Impactos en Coberturas Naturales
Línea Base Socioeconómica	Diagnóstico Comunidades	Cartografía Base	Escalas Adecuadas
	Percepción Social		Elementos Clave Representados
	Impacto en Economía Local		Mapas Georreferenciados
	Identificación de Grupos Vulnerables		Uso de Normas Cartográficas
	Evaluación de Servicios Públicos		Actualización de Mapas

Fuente: Elaboración propia

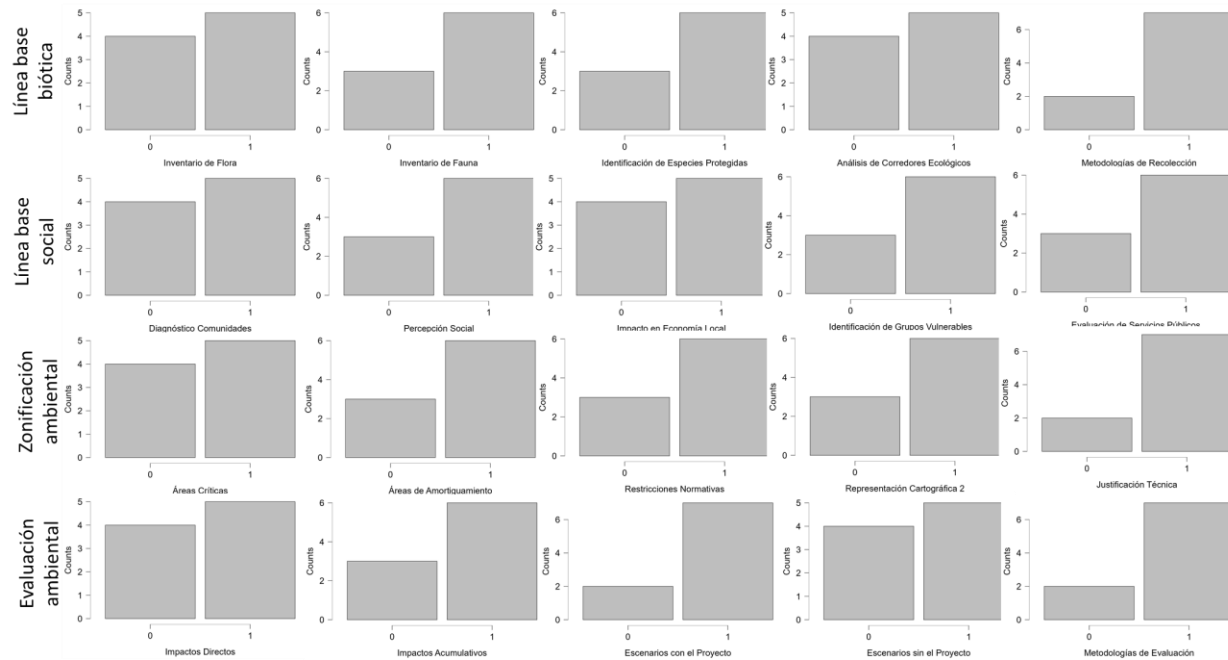
Cada uno de los criterios expuestos en la Tabla 3, fue valorado, en una matriz binaria que muestra el cumplimiento (1) o no cumplimiento (0) de cada categoría en los capítulos para los proyectos archivados por la ANLA. El resultado de esta integración se muestra en la Figura 1, Figura 2 y Figura 3.

**Figura 1 Resultado de la valoración para los entregables de introducción, descripción del proyecto, área de influencia, y línea base abiótica**



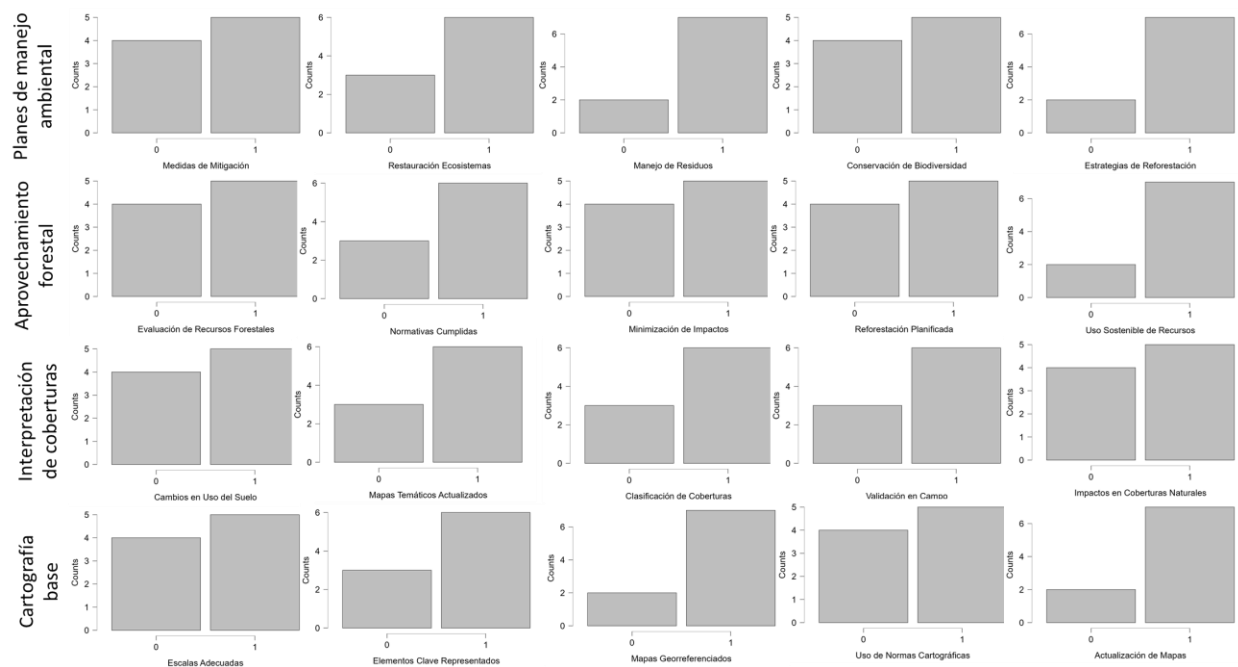
Convenciones; Counts: Número de proyectos, 0: No cumple, 1: Cumple

**Figura 2 Resultado de la valoración para los entregables de línea base biótica, línea base social, zonificación ambiental, evaluación ambiental**



Convenciones; Counts: Número de proyectos, 0: No cumple, 1: Cumple

**Figura 3 Resultado de la valoración para los entregables de Planes de manejo ambiental, aprovechamiento forestal, interpretación de coberturas y cartografía base**



Convenciones; Counts: Número de proyectos, 0: No cumple, 1: Cumple

Fuente: elaboración propia

Los resultados del análisis revelan que los capítulos con mayor cantidad de incumplimientos dentro de los estudios de impacto ambiental fueron; Interpretación de Coberturas, Aprovechamiento Forestal, y Zonificación Ambiental. En el caso del capítulo de Interpretación de Coberturas, la falta de cumplimiento fue recurrente en aspectos como la "Clasificación de Coberturas", los "Cambios en Uso del Suelo" y la elaboración de "Mapas Temáticos Actualizados". Estas deficiencias fueron especialmente evidentes en proyectos como Parques Eólicos Beta y Alpha y Parques Solares Morrison y Turpiales, los cuales no alcanzaron los estándares esperados en ninguna de estas categorías. De manera similar, en el capítulo de Aprovechamiento Forestal, hubo incumplimientos significativos en áreas como el "Uso Sostenible de Recursos" y el cumplimiento de las "Normativas Aplicables", lo que refleja la necesidad de mejorar las estrategias de evaluación y manejo en proyectos energéticos.

En contraste, los capítulos con mejor desempeño fueron Planes de Manejo Ambiental y Cartografía Base. En el capítulo de Planes de Manejo Ambiental, los proyectos sobresalieron por la implementación de medidas efectivas de mitigación y conservación, como se observó en La Virginia – Alférez 500 kV, Subestación Toluvié y LT, y San Jorge Fotovoltaico. Estas iniciativas incluyeron estrategias claras para

la reforestación y la restauración de ecosistemas, así como una adecuada gestión de residuos. Por otro lado, el capítulo de Cartografía Base mostró un alto nivel de cumplimiento, con la inclusión de mapas georreferenciados, escalas adecuadas y elementos clave representados de manera consistente en proyectos destacados como los mencionados anteriormente.

En cuanto a los proyectos con mayores incumplimientos, Parques Eólicos Beta y Alpha y Parques Solares Morrison y Turpiales presentaron las mayores falencias. Ambos proyectos presentaron deficiencias significativas en la mayoría de los capítulos, incluyendo las áreas críticas de Zonificación Ambiental y Línea Base Biótica. Estas carencias sugieren una falta de planificación detallada y una subjetividad de los impactos ambientales y sociales. Por otro lado, los proyectos con mayores cumplimientos fueron San Jorge Fotovoltaico, Subestación Toluviejo y LT, y La Virginia – Alférez 500 kV, que demostraron una leve mejoría para abordar los requisitos ambientales y técnicos. Estas iniciativas destacaron por su enfoque integral, cumplimiento normativo y aplicación de metodologías robustas.

En general, estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer áreas críticas en los estudios de impacto ambiental, enfocándose especialmente en los capítulos que registraron mayores incumplimientos. Al mismo tiempo, los proyectos destacados ofrecen modelos de malas prácticas que pueden servir de referencia para mejorar el desempeño de otras iniciativas dentro del sector eléctrico.

## **4.1 Estrategias de mejora en los Estudios de Impacto Ambiental**

Los capítulos con mayor cantidad de incumplimientos dentro de los estudios de impacto ambiental fueron; Interpretación de Coberturas, Aprovechamiento Forestal, y Zonificación Ambiental. A continuación, se proponen algunas estrategias de mejora para estos entregables.

### **4.1.1 Fortalecimiento de la Línea Base Ambiental**

Una línea base robusta y completa es esencial para evaluar correctamente los impactos de los proyectos. La falta de datos precisos sobre flora, fauna, calidad del aire, suelos y comunidades afecta la calidad de los estudios ambientales. Según Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), los métodos de recolección deben ser representativos y estandarizados, garantizando datos fiables. Como se observó en el proyecto Parques Eólicos Beta y Alpha, las carencias en inventarios de flora y fauna limitaron la capacidad de proponer medidas de manejo efectivas. Una estrategia para abordar esto es la adopción de tecnologías avanzadas, como drones y sensores remotos, para mejorar la recopilación de datos en áreas de difícil acceso,

lo cual ya ha demostrado ser exitoso en proyectos de parques eólicos en España (Delgado-Serrano & Ramos-Mejía, 2022).

#### **4.1.2 Interpretación de Coberturas**

La interpretación de coberturas de la tierra es clave para evaluar los impactos ambientales de proyectos eléctricos, especialmente en términos de cambios en el uso del suelo y la afectación de ecosistemas. Para mejorar esta área, se sugieren las siguientes estrategias:

Mediante la incorporación de imágenes satelitales y drones se pueden obtener datos más precisos y actualizados sobre las coberturas del suelo. Según Delgado-Serrano & Ramos-Mejía (2022), estas tecnologías mejoran la detección de cambios en la vegetación, lo que facilita clasificaciones más detalladas y confiables. En España, proyectos de energía renovable han integrado drones para validar datos de campo y corroborar interpretaciones iniciales.

Por otro lado, adoptar algoritmos de clasificación avanzados, como los basados en árboles de decisión o redes neuronales, puede optimizar la precisión de las clasificaciones de coberturas o metodologías que involucren IA para identificar patrones en la delimitación de coberturas. Esto permite procesar grandes volúmenes de datos geoespaciales de manera eficiente. Silva et al. (2019) destacaron que el uso de algoritmos en proyectos hidroeléctricos mejoró la identificación de áreas críticas.

Es necesario capacitar a los equipos en metodologías como CORINE Land Cover, ampliamente utilizado, ayuda a garantizar clasificaciones consistentes y estandarizadas. Esta metodología fue empleada en la planificación de parques solares en Alemania, lo que permitió una mejor integración de datos geográficos con las proyecciones de impacto ambiental (Schmidt & Meyer, 2018).

Finalmente, se debe complementar los datos con validación en campo, soportar los análisis de imágenes con verificaciones en campo asegura la precisión de los resultados. Esto es particularmente importante en zonas rurales o forestales donde los cambios en el uso del suelo pueden pasar desapercibidos en imágenes satelitales.

#### **4.1.3 2. Aprovechamiento Forestal**

El aprovechamiento forestal en proyectos eléctricos requiere una planificación cuidadosa para minimizar los impactos en la biodiversidad y cumplir con las normativas. Las estrategias incluyen:

Realizar inventarios forestales detallados, un inventario preciso de especies forestales permite evaluar la cantidad y calidad de los recursos afectados. Este enfoque fue implementado en el proyecto hidroeléctrico Belo Monte, donde la identificación de especies protegidas permitió diseñar estrategias específicas de manejo (Da Silva & Mendes, 2021). A partir de lo anterior, se pueden desarrollar planes de reforestación específicos. Mediante el diseño de programas de reforestación con especies nativas asegura la recuperación del ecosistema. La selección de áreas prioritarias para la reforestación debe basarse en datos geoespaciales y considerar la conectividad ecológica.

También es relevante monitorear la demanda de recursos en tiempo real, implementando sistemas de monitoreo continuo que permitan evaluar la cantidad de recursos forestales utilizados durante las fases de construcción y operación. Esto facilita ajustes inmediatos para evitar sobreexplotaciones.

Por último, incorporar el uso de tecnologías limpias, como maquinaria con menor impacto ambiental y técnicas de tala selectiva reduce significativamente la afectación a los ecosistemas. Silva et al. (2019) documentaron cómo el uso de tecnologías avanzadas minimizó el impacto forestal en proyectos hidroeléctricos.

### **4.1.4 Zonificación Ambiental**

La zonificación ambiental es crucial para identificar y proteger áreas críticas y de amortiguamiento en el área de influencia de los proyectos. Las estrategias clave incluyen:

Uso de sistemas de información geográfica (SIG), permite analizar datos geoespaciales y crear mapas que identifiquen áreas sensibles, como corredores ecológicos y hábitats protegidos. En Itaipú, Brasil, el SIG facilitó la zonificación de áreas de alto valor ecológico, reduciendo conflictos con comunidades locales (Silva et al., 2019). Lo anterior, se complementa con la integración de variables sociales y ambientales, la zonificación debe incluir factores socioeconómicos, como la presencia de comunidades vulnerables y el acceso a servicios básicos, junto con aspectos ambientales. Esto garantiza un enfoque integral en la planificación.

De forma complementaria las consultas con expertos y comunidades, incorpora conocimientos locales y puntos de vista con especialistas mejora la precisión de la zonificación y fomenta la aceptación social. En el caso de Belo Monte, la participación comunitaria en la definición de áreas críticas aumentó la legitimidad del proceso (Da Silva & Mendes, 2021).

Actualización de mapas y datos también son esenciales para describir los cambios en el uso del suelo y ecosistemas. La frecuencia de actualización debe alinearse con las etapas del proyecto para garantizar decisiones informadas

El desarrollo de modelos predictivos que simulen escenarios de impacto facilita la toma de decisiones en las fases de diseño y planificación. Herramientas como InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs) han sido utilizadas en proyectos solares en Europa para prever impactos sobre la biodiversidad (Schmidt & Meyer, 2018), por lo cual pueden ser una buena base para la toma de decisiones en el desarrollo de estudios de impacto ambiental en el país.

## 5 CONCLUSIONES

Los estudios de impacto ambiental en el sector eléctrico presentan fallas significativas en capítulos como Interpretación de Coberturas, Aprovechamiento Forestal y Zonificación Ambiental. Estas temáticas son fundamentales para garantizar la sostenibilidad de los proyectos, por lo cual requieren una mayor atención en términos de precisión, planificación y cumplimiento normativo.

El uso limitado de tecnologías avanzadas, como drones, imágenes satelitales y herramientas SIG, reduce la capacidad de obtener datos precisos y actualizados. Esto afecta directamente la calidad de los inventarios y clasificaciones necesarios para la evaluación ambiental.

La ausencia de un enfoque integral que combine variables socioeconómicas y ambientales limita la eficacia de la zonificación y el manejo de recursos. Las comunidades locales no siempre son incluidas de manera adecuada, lo que puede generar conflictos sociales y rechazos hacia los proyectos.

La implementación de planes de manejo ambiental carece de indicadores claros y medibles para evaluar la efectividad de las medidas propuestas. Esto dificulta el monitoreo de los impactos y la toma de decisiones informadas durante las etapas posteriores del proyecto.

### 5.1 Recomendaciones

#### Incorporación de tecnologías para la precisión de los estudios

El uso tecnologías avanzadas como drones, algoritmos de aprendizaje automático y Sistemas de Información Geográfica (SIG) es crucial para mejorar la calidad y precisión de los Estudios de Impacto

Ambiental (EIA). Los drones, por ejemplo, permiten realizar levantamientos aéreos en tiempo real, recopilando datos detallados de áreas de difícil acceso con alta precisión. Estos dispositivos pueden mapear terrenos, monitorear cambios en el uso del suelo y detectar impactos en la vegetación y los ecosistemas, disminuyendo significativamente los tiempos y costos asociados con los estudios de campo para la delimitación de coberturas y logística de campo, por ejemplo.

Los algoritmos de aprendizaje automático, como las redes neuronales y los árboles de decisión, son herramientas clave para analizar grandes volúmenes de datos recopilados, identificando patrones y tendencias que de otra manera podrían pasar desapercibidos. Por ejemplo, pueden clasificar automáticamente las coberturas de la tierra a partir de imágenes satelitales, mejorando la consistencia y reduciendo los errores humanos. Estas herramientas también son efectivas en la detección de riesgos ambientales potenciales y la predicción de impactos acumulativos.

El uso de Sistemas de Información Geográfica - SIG permite integrar y analizar datos espaciales y no espaciales en una única plataforma, lo que facilita la creación de mapas precisos y representaciones visuales de los impactos proyectados. Al combinar SIG con drones y algoritmos de aprendizaje automático, se puede desarrollar un enfoque integral que no solo mejora la precisión de los estudios, sino que también permite una toma de decisiones más informada y basada en evidencia. Metodologías internacionales como CORINE Land Cover ofrecen estándares reconocidos que garantizan la comparabilidad y la calidad de los resultados. Esta metodología permite clasificar las coberturas del suelo en diferentes niveles de detalle, proporcionando una base sólida para evaluar los cambios en el uso de la tierra y los impactos asociados a proyectos energéticos.

#### Capacitación y supervisión de equipos técnicos

Para garantizar la efectividad en la implementación de estas tecnologías, es esencial invertir en la capacitación de los equipos técnicos. Esto incluye formación en el manejo de drones, el uso avanzado de herramientas SIG y la implementación de algoritmos de aprendizaje automático. Además, la capacitación debe cubrir las normativas específicas aplicables al sector eléctrico, asegurando que los estudios cumplan con los estándares legales y técnicos establecidos por las autoridades ambientales.

La supervisión constante por parte de entidades como la ANLA y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) es fundamental para monitorear el cumplimiento de las normativas y garantizar la calidad de los estudios. La implementación de auditorías regulares y la creación de protocolos claros para la evaluación de los EIA son medidas que pueden fortalecer la supervisión y aumentar la transparencia del proceso.

#### Uso de modelos predictivos y valoración económica

La inclusión de modelos predictivos, como InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs), permite simular escenarios futuros de impacto ambiental. Estas herramientas ayudan a identificar los efectos acumulativos de los proyectos en ecosistemas y comunidades locales, proporcionando una base sólida para diseñar medidas de mitigación más efectivas. InVEST, por ejemplo, puede modelar servicios ecosistémicos clave como la calidad del agua, la retención de carbono y la biodiversidad, permitiendo una planificación más precisa y sostenible.

El análisis de ciclo de vida (LCA) es otra herramienta crucial que evalúa los impactos ambientales asociados con todas las etapas de un proyecto, desde la extracción de materias primas hasta la operación y el desmantelamiento. Este enfoque permite identificar oportunidades para reducir impactos y optimizar recursos a largo plazo.

La integración de la valoración económica en los EIA es igualmente importante. Calcular los costos ambientales asociados a los impactos proyectados permite priorizar medidas de mitigación basadas en su costo-beneficio. Por ejemplo, las inversiones en reforestación o restauración de ecosistemas pueden justificarse no solo por sus beneficios ecológicos, sino también por los servicios ecosistémicos que proporcionan, como la regulación hídrica y la captura de carbono.

### Procesos de consulta previa e integración multidisciplinaria

La aceptación social de los proyectos energéticos depende en gran medida de la participación activa de las comunidades locales en las etapas iniciales de planificación. Establecer procesos de consulta previa estructurados y transparentes garantiza que las preocupaciones y necesidades de las comunidades sean consideradas en el diseño del proyecto. Estos procesos no solo mejoran la relación entre las partes interesadas, sino que también reducen el riesgo de conflictos sociales que puedan retrasar o bloquear la ejecución de los proyectos.

La integración de equipos multidisciplinarios en la elaboración de los EIA es otro aspecto crítico. Estos equipos deben incluir especialistas en disciplinas como ecología, sociología, economía, ingeniería y derecho ambiental, para abordar los impactos desde perspectivas complementarias. Por ejemplo, los ecólogos pueden identificar los riesgos para la biodiversidad, mientras que los economistas pueden evaluar los costos y beneficios de las medidas de mitigación propuestas. Esta colaboración permite desarrollar estrategias más integrales y efectivas para mitigar los impactos ambientales y sociales.

### Uso de herramientas para la gestión de proyectos

La integración de herramientas de gerencia de proyectos en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) es esencial para mejorar su planificación, ejecución y seguimiento, garantizando resultados de alta calidad en proyectos en Colombia. Una metodología ágil como Scrum puede ser especialmente útil para estructurar los procesos de los EIA en ciclos cortos de trabajo llamados "sprints". Cada sprint puede centrarse en un componente específico, como la recolección de datos de línea base, la evaluación de impactos o el diseño de planes de mitigación. Este enfoque fomenta la adaptabilidad a los cambios, permite inspecciones continuas y promueve la mejora incremental, asegurando que los entregables cumplan con los términos de referencia establecidos por las autoridades ambientales. Además, facilita una colaboración constante entre equipos multidisciplinarios, comunidades locales y entidades reguladoras, lo que garantiza que los estudios estén alineados con las expectativas de todas las partes involucradas.

El enfoque integral del PMBOK, propuesto por el Project Management Institute (PMI), también ofrece herramientas valiosas para gestionar los EIA de manera estructurada. Este marco permite una planificación precisa del alcance, un cronograma detallado y una identificación proactiva de riesgos. Por ejemplo, mediante el uso de software como Microsoft Project o Primavera P6, los equipos pueden monitorear hitos clave y asegurarse de que los estudios progresen dentro de los plazos establecidos. La gestión del riesgo es otro componente crítico, ya que permite anticipar desafíos como la falta de datos o cambios regulatorios, lo que garantiza una respuesta oportuna que minimice las afectaciones al proyecto. En combinación, estos elementos no solo mejoran la eficiencia de los procesos, sino que también incrementan la probabilidad de que los EIA cumplan con los estándares requeridos.

El uso de plataformas colaborativas como Trello, Asana o Jira es otra recomendación clave para gestionar las múltiples tareas y actores involucrados en los EIA. Estas herramientas permiten asignar responsabilidades de manera clara, facilitar la comunicación entre los miembros del equipo y realizar un seguimiento del progreso de las actividades en tiempo real. Al centralizar la información y promover la transparencia en los procesos, estas plataformas ayudan a reducir los errores, optimizar los recursos y garantizar que cada etapa del EIA se complete de manera eficiente.

Por último, establecer indicadores clave de desempeño (KPI) es fundamental para monitorear y evaluar el éxito de los EIA. Indicadores como el cumplimiento del cronograma, la calidad de los entregables y la participación efectiva de las partes interesadas ofrecen una visión clara del progreso y la efectividad de los estudios. Estos KPI pueden ser gestionados mediante herramientas como Power BI o Tableau, que generan visualizaciones dinámicas y detalladas para respaldar la toma de decisiones estratégicas. Junto con un enfoque en la mejora continua, estas prácticas garantizan que los EIA no solo cumplan con las normativas, sino que también promuevan un desarrollo energético sostenible.

## 6 REFERENCIAS

Angulo, A., Rueda-Almonacid, J., Rodríguez-Mahecha, J., & La Marca, E. (2006). Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Bogotá D.C.: Conservación Internacional.

American Petroleum Institute (API). (2013). Managing system integrity for hazardous liquid pipelines. API recommended practice 1160. Washington: API.

ANLA (2013). Manual para Evaluar la Calidad de Estudios de Valoración Contingente. AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES – ANLA- Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales SIPTA.

ANLA (2024). Respuesta al derecho de petición sobre licencias ambientales archivadas en el sector energía, período 2019-2024. Grupo de Servicio al Ciudadano.

Astorga, E. (2023). La permisología en Chile: dos caras de una misma moneda. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/columnas/2023/10/02/la-permisologia-en-chile-dos-caras-de-una-misma-moneda/>

Asuntos Legales. (2019). Licenciamiento ambiental en proyectos de energías renovables. Asuntos Legales. Recuperado de <https://www.asuntoslegales.com.co/consultorio/licenciamiento-ambiental-en-proyectos-de-energias-renovables-2829093>

Bautista, E. (2019). La calidad de los estudios de impacto ambiental EIA en Colombia: Estudio de caso, los proyectos del sector de infraestructura de transporte. Universidad Libre de Colombia, Bogota D. C.

Bernal, C. A. (2016). Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales. Pearson Educación.

Blue Radio. (2024). Grupo Energía Bogotá alerta sobre apagón: “El riesgo es inminente”. Blu Radio. Consultado el 25 de mayo de 2024 en. <https://www.bluradio.com/nacion/grupo-energia-bogota-alerta-sobre-apagon-el-riesgo-es-inminente-pr30>

Bodin, Ö., & Saura, S. (2010). Ranking individual habitat patches as connectivity providers. Ecological Modelling, 221, 2393–2405.

Calderón, E., Galeano, G., & García, N. (2005). Libro rojo de plantas de Colombia: Palmas, frailejones y zamias. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente.

Carvajal, J. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Certificación ambiental. (2024). Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. <https://www.minam.gov.pe/seia/que-es-la-certificacion-ambiental/>

Conesa, V. (2010). Guía metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Da Silva, J., & Mendes, L. (2021). Community engagement in large-scale energy projects: Lessons from Belo Monte, Brazil. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(3), 409-427.

Delgado-Serrano, M. del M., & Ramos-Mejía, M. (2022). Analysing citizens' perceptions of renewable energies in rural areas: A case study on wind farms in Spain. *Energy Reports*, 8, 10657-10669.

ENEL Colombia (2022). Informe sobre la demanda energética y la calidad del servicio en el centro del país.

FNA – Foro Nacional Ambiental (2011). Las Licencias Ambientales y su proceso de reglamentación en Colombia. Foro Nacional Ambiental

Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245.

Heras del Dedo, R., & Álvarez García, A. (2017). Scrum de un vistazo. Ediciones Anaya.

Hernández, R., Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta . McGraw-Hill.

ICONTEC. (2015). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001. Bogotá.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), & Parques Nacionales Naturales de Colombia

(PNNC). (2017). Memoria técnica del mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (MEC), escala 1:100.000

Londoño, B. Rodríguez, G & Herrera, G. (2006). Perspectivas del derecho ambiental en Colombia. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. p. 236

Martínez Bernal, L. (2013). Análisis de la Incertidumbre en los Estudios de Impacto Ambiental en Colombia desde el Enfoque de los Sistemas Complejos. [en línea] 2013 [Fecha consulta : 9 de junio 2024]. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá Institutos Interfacultades Instituto de Estudios Ambientales (IDEA).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Términos de referencia para la elaboración de estudios de impacto ambiental.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS (2022). Licenciamiento Ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/licenciamiento-ambiental/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018). Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2018). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental -EIA-, proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica TdR-17.

Project Management Institute (PMI). (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). PMI.

Raiter, K., Possingham, P., Prober, S., & Hobbs, R. (2014). Under the radar: mitigating enigmatic ecological impacts. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(11), 635–644.

Sánchez, J. (2023). Evita estos errores comunes en la tramitación de permisos y licencias ambientales con una gestión digital eficiente. En <https://www.m-risk.com/blog/permisos>

Sandoval, Y. (2023, 8 octubre). ANLA fortalece elaboración de estudios en proyectos de energía e hidrocarburos. Valora Analitik. <https://www.valoraanalitik.com/anla-fortalece-elaboracion-de-estudios-ambientales-en-proyectos-de-energia-e-hidrocarburos/>

Schmidt, L., & Meyer, C. (2018). Integrating life cycle assessment into renewable energy projects: A case study from Germany. *Renewable Energy Journal*, 126, 580-590.

Silva, R., Villanueva, M., & Santos, F. (2019). GIS-based environmental planning for hydroelectric projects: Insights from Itaipú. *Energy Policy*, 132, 120-132.

Suarez, N. Soto, V & Arrieta, S. (2018). Análisis comparativo de los métodos de la evaluación de impacto ambiental aplicados en el subsector vial en Colombia. Dialnet, Vol 9 N° 2.

Villanueva, M., & Santos, F. (2020). Renewable energy projects and environmental monitoring: A study on Spanish wind farms. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(6), 1-15.