

**Propuesta de expansión sostenible del sistema de transmisión eléctrica en el
municipio de Acacías, Meta: diagnóstico, previsión de demanda, evaluación de impacto
ambiental y articulación territorial hasta 2030**

Edinson Fernelly Avellaneda Muñoz

Asesor

Luis Eduardo Hincapié Palmezano

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN

Maestría en Administración de Organizaciones

2025

Dedicatoria

A mi familia, con todo mi amor y gratitud:

Son mi cimientos, apoyo, enfoque y fuente inagotable de fuerza para lograr todos los objetivos que me he trazado. A mi esposa, hijos y madre por su amor incondicional, el sacrificio silencioso y su fe inquebrantable conmigo, sobre todo en los momentos más difíciles. Su ejemplo de esfuerzo, responsabilidad, disciplina y perseverancia han sido mi mayor motivación y aprendizaje a lo largo de mi camino. Extiendo este agradecimiento por todas las palabras de aliento en los momentos adecuados, por escucharme en situaciones de frustración y siempre lograr en mí una sonrisa cuando lo necesitaba.

Este logro es para todos ustedes. Sin su compañía, comprensión, respaldo, consejos y silencio en el momento indicado, este proyecto no habría sido una realidad.

Con todo mi corazón, gracias infinitas.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ing. Luis Eduardo Hincapié Palmezano, Director, por su permanente acompañamiento, asesoría y claridad en la conducción del proceso investigativo aportando rigor y estructura en cada etapa del estudio, elementos que fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Los Jurados Dra. Gloria Nancy Duitama y Dr. Jaime Diego Gutiérrez, por sus importantes aportes, observaciones y recomendaciones, que enriquecieron significativamente este trabajo, contribuyendo con su fortalecimiento académico.

Finalmente, hago extensivo mi agradecimiento a todos los docentes de la Maestría por su dedicación, su enseñanza ha sido la base en mi formación académica y personal.

Resumen

El municipio de Acacías, en el departamento del Meta (Colombia), enfrenta un crecimiento sostenido en su demanda energética derivado de la expansión demográfica, el dinamismo productivo y el aumento de actividades urbanas y turísticas. Este fenómeno ha generado una presión creciente sobre la infraestructura de transmisión y distribución eléctrica, la cual presenta limitaciones técnicas y de confiabilidad. Ante este escenario, la investigación tuvo como propósito diseñar una propuesta integral de ampliación de la capacidad eléctrica con horizonte al año 2030, articulando tres dimensiones clave: viabilidad técnica, sostenibilidad ambiental y pertinencia territorial. La metodología incluyó un diagnóstico del estado actual de la infraestructura, proyecciones de demanda basadas en variables oficiales, un análisis de confiabilidad del suministro y la evaluación de impactos ambientales mediante herramientas como la matriz de Leopold y el modelo DPSIR. Los resultados evidencian que, sin una intervención estructural, la capacidad instalada resultará insuficiente, con riesgos de déficit energético y afectaciones socioeconómicas. Asimismo, se identificaron impactos ambientales significativos que requieren medidas de mitigación y estrategias de gobernanza territorial. El trabajo concluye que la expansión de la infraestructura eléctrica en Acacías es inaplazable, pero debe abordarse bajo un enfoque integral que garantice la calidad del servicio, la protección ambiental y la participación comunitaria. Este estudio constituye un insumo estratégico para la planificación energética regional y un aporte al fortalecimiento de la política pública en el sector eléctrico.

Palabras clave: Energía eléctrica; transmisión; sostenibilidad ambiental; confiabilidad; planeación territorial.

Abstract

The municipality of Acacías, in the department of Meta (Colombia), faces a steady increase in energy demand resulting from demographic growth, productive dynamism, and the expansion of urban and tourism activities. This trend has placed increasing pressure on the transmission and distribution infrastructure, which shows significant technical and reliability limitations. In this context, the purpose of this research was to design an integrated proposal for expanding the electrical capacity by 2030, combining three key dimensions: technical feasibility, environmental sustainability, and territorial relevance. The methodology included a diagnosis of the current state of the infrastructure, demand projections based on official data, a reliability analysis of the supply, and an environmental impact assessment using tools such as the Leopold matrix and the DPSIR model. Results show that without structural intervention, the installed capacity will be insufficient, leading to potential energy deficits and socioeconomic impacts. Likewise, significant environmental effects were identified, requiring mitigation measures and territorial governance strategies. The study concludes that the expansion of electrical infrastructure in Acacías is urgent but must be addressed under an integrated approach that ensures service quality, environmental protection, and community participation. This work provides a strategic input for regional energy planning and contributes to strengthening public policy in the electricity sector.

Keywords: Electric power; Transmission; Environmental sustainability; Reliability; Territorial planning.

Tabla de Contenido

Resumen.....	4
Introducción	14
Justificación.....	18
Pertinencia y Relevancia del Trabajo	18
Problemática Actual en Evaluaciones de Carácter Ambiental	18
Evidencia de Carácter Ambiental en Estudios Ambientales.....	18
Enfoque Propuesto	19
Participación Comunitaria	19
Implicaciones para la Política Pública	19
Viabilidad Técnica.....	20
Cronograma y Plazo.....	20
Objetivos	22
Objetivo General.....	22
Objetivos Específicos	22
Alcances y Limitaciones	23
Delimitación Espacial	23
Delimitación Temática.....	23
Delimitación Temporal	24
Marcos de Referencia	26
Marco teórico	26
Impacto Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	28
Modelos DPSIR y Matriz de Leopold	30

Fragmentación Ecológica.....	32
Sistemas socio-Ecológicos.....	34
Participación Social en Proyectos Ambientales.....	36
Sostenibilidad y Justicia Ambiental.....	38
Limitaciones.....	39
Marco conceptual.....	41
Indicadores y Variables Clave	41
Ecología del Paisaje y Fragmentación Ecológica	42
Sistemas Socio-Ecológicos y Resiliencia Territorial.....	42
Participación social: Teorías y Aplicación	42
Sostenibilidad Ambiental: Principios Rectores	43
Análisis Crítico y Limitaciones	43
Marco Legal	43
Marco Normativo y Regulación Energética	45
Antecedentes	45
Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como Herramienta Estructurante	46
Modelo DPSIR: Causalidad Estructurada.....	46
Diseño Metodológico.....	47
Tipo y Enfoque de Investigación	49
Diseño de la Investigación	50
Fases del Proyecto Aplicado.....	52
Fase 1. Diagnóstico.....	52
Fase 2. Diseño de la Propuesta	53

Fase 3. Validación.....	54
Fase 4. Propuesta Final	55
Población y Muestra (Unidad de Análisis)	56
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	57
Procedimientos para el Análisis de la Información	60
Aplicación del Modelo DPSIR	63
Aplicación de la Matriz de Leopold.....	64
Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones.....	65
Consideraciones Éticas	65
Limitaciones del Estudio.....	67
Resultados.....	70
Diagnóstico y Análisis de la Situación Actual.....	70
Diagnóstico del Sistema Eléctrico (Capacidad, Cobertura, Pérdidas y Confiabilidad)	
.....	71
Análisis de la Demanda y Proyección de Escenarios	71
Diagnóstico Ambiental y Territorial (Áreas Sensibles y Usos del Suelo).....	72
Análisis de Actores Clave.....	73
Gestión y Mantenimiento de Sistemas Mixtos: Experiencias Internacionales.	76
Diseño y Desarrollo de la Propuesta Técnica	79
Formulación de Alternativas de Solución.....	79
Evaluación y Comparación de las Alternativas	80
Diseño de la Propuesta Seleccionada.....	81
Componente Técnico	81

Componente Ambiental	87
Componente Social	95
Plan de Implementación y Cronograma.....	101
Riesgos Conflictos y Discrepancias Identificadas en la Validación Social	104
Validación de la Propuesta.....	105
Validación Técnica	106
Validación Ambiental	106
Validación Social	107
Análisis de Consistencia y Mejora.....	107
Resultados y Producto Entregable	108
Descripción General del Producto Entregable	108
Beneficios Técnicos y Operativos	109
Beneficios Ambientales	110
Beneficios Sociales y Organizacionales	111
Impacto Esperado del Proyecto	112
Conclusiones	114
Recomendaciones	119
Referencias.....	122
Anexos	131

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama de flujo Fase 1</i>	52
Figura 2. <i>Diagrama de flujo Fase 2</i>	53
Figura 3. <i>Diagrama de flujo Fase 3</i>	54
Figura 4. <i>Diagrama de flujo Fase 4</i>	55
Figura 5. <i>Evolución de indicadores técnicos: Acacías (2014-2023)</i>	76
Figura 6. <i>Modelo 3D con características del diseño</i>	83
Figura 7. <i>Área de influencia del proyecto</i>	97
Figura 8. <i>Ubicación de puntos carentes de energía</i>	97
Figura 9. <i>Mapa de ordenamiento territorial Acacías</i>	147
Figura 10. <i>Mapa geológico de Acacías</i>	148
Figura 11. <i>Mapa de conservación ambiental de Acacías</i>	149

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>DPSIR Indicadores ambientales</i>	32
Tabla 2. <i>Leopold indicadores ambientales</i>	32
Tabla 3. <i>Resumen de la ponderación</i>	32
Tabla 4. <i>Modelo de la proyección de la demanda energética de Acacias</i>	62
Tabla 5. <i>Matriz de Leopold (Impactos Ambientales por actividad y alternativa)</i>	64
Tabla 6. <i>Datos históricos y proyección de la demanda</i>	68
Tabla 7. <i>Diagnóstico técnico Acacias</i>	70
Tabla 8. <i>Actores clave el en proyecto de ampliación</i>	74
Tabla 9. <i>Protocolo de inspección y mantenimiento para sistemas mixtos (subterráneo-aéreo)</i>	78
Tabla 10. <i>Evaluación de alternativas</i>	80
Tabla 11. <i>Diagnóstico técnico y ambiental (Indicadores por alternativa)</i>	81
Tabla 12. <i>Objetivos SMART del PMA</i>	87
Tabla 13. <i>Plan de manejo ambiental (PMA)</i>	90
Tabla 14. <i>Metas del PMA</i>	91
Tabla 15. <i>Hitos y responsables</i>	101
Tabla 16. <i>Cronograma de Gantt</i>	103
Tabla 17. <i>Matriz multicriterio de selección</i>	112
Tabla 18. <i>Interpretación de los resultados</i>	116
Tabla 19. <i>Acciones del proyecto × Factores ambientales (M/I; S)</i>	142
Tabla 20. <i>Impactos residuales (M/I; S)</i>	143

Tabla 21. <i>Matriz de evaluación multicriterio de alternativas para la expansión eléctrica en Acacías (Meta)</i>	144
Tabla 22. <i>Modelo DPSIR</i>	145
Tabla 23. <i>Matriz resumen del plan de manejo ambiental (PMA) – Proyecto “ampliación del sistema eléctrico la reforma – San Fernando”, Acacías (Meta)</i>	150
Tabla 24. <i>Población objetivo</i>	153
Tabla 25. <i>Cronograma de talleres y actividades comunitarias</i>	154
Tabla 26. <i>Anexo técnico sobre proyección y demanda en Acacías</i>	158

Lista de Anexos

Anexo A. Protocolo de entrevista semiestructurada.....	131
Anexo B. Evolución de indicadores técnicos del sistema eléctrico de Acacías (2014–2023) ...	133
Anexo C. Plan estratégico EMSA 2021-2030.....	134
Anexo D. Contratos de mantenimiento de líneas y redes.....	135
Anexo E. Fotos comparativas intervención subestación	136
Anexo F. Red de conexión eléctrica para Acacías	137
Anexo G. Evidencias de revisión documental.....	138
Anexo H. Matrices de Leopold	142
Anexo I. Matriz de Análisis Multicriterio (AMC)	144
Anexo J. Modelo DPSIR aplicado	145
Anexo K. Mapa de ordenamiento territorial de Acacías	147
Anexo L. Mapa geológico de Acacías.....	148
Anexo M. Mapa de conservación ambiental de Acacías.....	149
Anexo N. Plan de Manejo Ambiental (PMA)	150
Anexo O. Plan de participación comunitaria (PPC).....	152
Anexo P. Plantilla de Consentimiento Informado.....	157
Anexo Q. Anexo técnico sobre proyección y demanda en Acacías	158
Anexo R. Scripts y resultados en Python	159

Introducción

En el municipio de Acacías, Meta, Colombia, el crecimiento demográfico y económico generado durante los últimos quince años ha impulsado una fuerte presión sobre el sistema eléctrico regional. Según la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME (2024), la demanda nacional de energía eléctrica crecerá a una tasa media anual cercana al 2,38 % entre 2024 y 2038. En Acacías este fenómeno se refleja de manera más marcada: entre 2005 y 2017, la población local creció un 32,8 %, mientras que el departamento del Meta aumentó sólo un 27,4 %. La infraestructura eléctrica actual, basada en tensiones de 110 kV y con cobertura rural inferior al promedio nacional, enfrenta sobrecargas frecuentes, cortes y riesgo de fallos en una parte de la subestación. De hecho, la Electrificadora del Meta S.A (EMSA) reportó un crecimiento en la demanda local del 7,56 % en 2017, superior a la media del país (EMSA, 2025).

Para mitigar estas deficiencias, se ha proyectado la construcción de la línea de transmisión “La Reforma – San Fernando” a 230 kV, con aproximadamente 35 km de longitud atravesando zonas ambientales sensibles de Acacías. Sin embargo, esta solución técnica presenta riesgos ecológicos evidentes: afecta riberas, zonas boscosas y hábitats fluviales. De acuerdo con la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2022), los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) deben contemplar los entornos físico, biótico y social, así como alternativas, mitigación y valoración económica de impactos.

Lo anteriormente mencionado evidencia que los EIA en Colombia tienden a priorizar el cumplimiento formal más que el análisis integrado de los efectos acumulativos, lo que reduce su capacidad para orientar decisiones territoriales coherentes (Cornare, 2019). Un ejemplo claro de cumplimiento formal sin enfoque integral ocurrió durante la ejecución del proyecto de expansión de la subestación San Fernando, donde comunidades rurales denunciaron la falta de consulta

efectiva y la omisión de impactos acumulativos sobre fuentes hídricas como las quebradas El Diamante y La Unión. Asimismo, en el caso del proyecto de interconexión Guamal–San Fernando, se reportaron autorizaciones ambientales expedidas sin evaluación detallada de la afectación sobre corredores biológicos locales. Estos antecedentes evidencian una tendencia a privilegiar trámites administrativos sobre diagnósticos territoriales integrales en el departamento del Meta (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018).

El caso de Acacías es representativo y crítico porque concentra dinámicas clave del desarrollo energético nacional en un territorio con alta sensibilidad ecológica. Es un municipio estratégico del Piedemonte llanero, zona de expansión agroindustrial y urbana, donde convergen proyectos eléctricos de escala regional como la línea “La Reforma – San Fernando”. La coexistencia de ecosistemas frágiles, comunidades rurales y presiones de crecimiento convierte a Acacías en un microcosmos de los dilemas estructurales del país: cómo expandir infraestructura sin comprometer la sostenibilidad ambiental. Además, el Meta forma parte del corredor energético nacional, y las decisiones tomadas allí sientan precedentes regulatorios y técnicos para proyectos similares en otras regiones de la Orinoquía y la Amazonía colombiana, donde los riesgos ecológicos son aún mayores.

El conflicto central surge de la disyuntiva entre la necesidad de ampliar la capacidad energética para garantizar la sostenibilidad del suministro, y el compromiso ambiental que exige evitar, mitigar o compensar los impactos en los ecosistemas. Por lo tanto, problema central radica en buscar un equilibrio entre la ampliación de la capacidad para garantizar un suministro energético sostenible con la responsabilidad ambiental que proteja estos ecosistemas. En este contexto, es imprescindible diseñar un enfoque evaluativo que articule dos aspectos

fundamentales: los requerimientos técnicos de la demanda y confiabilidad con criterios de rigurosidad ambiental. Este enfoque debe considerar:

- a) Análisis comparativo de alternativas de trazado;
- b) Valoración de afectación sobre cuencas, suelos, bosques y biodiversidad,
- c) Estrategias compensatorias adecuadas;
- d) Inclusión de la comunidad rural en procesos participativos; y
- e) Mecanismos institucionales para seguimiento ambiental, según las directrices de la ANLA (2022).

La literatura académica confirma la relevancia de este enfoque. Por ejemplo, Fischer et al. (2017) destacan que las evaluaciones de impacto ambiental a menudo no abordan los impactos acumulativos ni la participación de las partes interesadas en zonas de expansión energética rural. En consonancia, Jones & Smith (2019) argumentan que la integración de la valoración ecológica en la planificación de la transmisión reduce los costos ambientales a largo plazo y mejora la aceptación social. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que una planificación técnica que ignore los impactos ambientales y sociales puede provocar efectos negativos irreversibles en territorios como Acacías.

Según la International Energy Agency & Organization for Economic Co-operation and Development (IEA & OECD, 2023), este dilema es global: asegurar el acceso confiable a energía al tiempo que se protege la biodiversidad, especialmente en entornos rurales frágiles. Dicho reto es relevante para regiones en vía de desarrollo donde la construcción de infraestructura no siempre se planea de modo integrado.

Finalmente, es importante señalar que los criterios mínimos aceptables en el ámbito ecológico para proyectos de transmisión eléctrica en Colombia están definidos en el Decreto

1076 de 2015, que establece que los Estudios de Impacto Ambiental deben identificar, valorar y mitigar los efectos significativos sobre el medio biótico, incluyendo fragmentación de hábitats, pérdida de biodiversidad y alteración de corredores ecológicos. A nivel internacional, la Corporación Financiera Internacional (IFC) en su Guía de Desempeño 6 exige la conservación de hábitats críticos, la aplicación de jerarquías de mitigación y la no pérdida neta de biodiversidad en áreas sensibles (IFC, 2012). Además, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (2010) promueve la conservación in situ y la restauración ecológica como parte de los estándares globales. En conjunto, estos marcos establecen que cualquier proyecto debe, como mínimo, evitar impactos irreversibles y garantizar la integridad ecológica de los ecosistemas afectados.

En consecuencia, este Estudio está orientado a resolver la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede evaluar de una manera integral el impacto ambiental del incremento en la oferta de energía eléctrica a través de la línea “La Reforma – San Fernando” y sus posibles alternativas en el municipio de Acacías, ¿de tal forma que se puedan identificar y promover medidas que minimicen los efectos ecológicos negativos del proyecto al año 2030?

Justificación

Pertinencia y Relevancia del Trabajo

La elección de este estudio responde a la urgente necesidad de armonizar la expansión técnica del sistema eléctrico con la protección del medio ambiente en el municipio de Acacías. Por un lado, la línea “La Reforma – San Fernando” y obras complementarias buscan atender el aumento de la demanda eléctrica proyectada hacia 2030, lo cual es esencial para garantizar la confiabilidad del servicio y promover el desarrollo regional. Sin embargo, estas intervenciones impactan directamente ecosistemas frágiles, como riberas, bosques y corredores naturales, lo que plantea un dilema entre el progreso energético y la conservación ambiental (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018).

Problemática Actual en Evaluaciones de Carácter Ambiental

Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos de transmisión eléctrica en Colombia tienen un alcance limitado si no integran mecanismos sólidos de análisis de impactos acumulativos, participación comunitaria y seguimiento ecológico a largo plazo. Estudios evaluativos han encontrado que estos instrumentos suelen centrarse en el cumplimiento formal, descuidando elementos clave como la valoración ecológica robusta y el involucramiento real de los actores sociales afectados (Toro et al., 2010). Esta situación debilita la gobernanza ambiental y reduce la legitimidad de los proyectos en contextos rurales.

Evidencia de Carácter Ambiental en Estudios Ambientales

En otros países, la revisión sistemática de impactos de líneas de transmisión ha identificado al menos treinta efectos bióticos derivados de alteraciones abióticas —como cambio de uso del suelo— que afectan biodiversidad, conectividad de hábitats y conservación de especies locales (Power lines and impacts on biodiversity, 2018). Un enfoque semejante revela

que la construcción de infraestructura puede fragmentar ecosistemas, aumentar la erosión y alterar servicios hídricos, lo cual exige medidas preventivas y de corrección adaptadas al contexto local.

Enfoque Propuesto

Este estudio propone un enfoque innovador que cruza la ingeniería eléctrica con la ecología del paisaje. Se tomaron como referencia metodologías internacionales que evalúan la conectividad ecológica y la resistencia al cambio provocada por proyectos energéticos (Yin et al., 2025). Al aplicar herramientas como el análisis de corredores ecológicos y el modelado de pautas de conectividad territorial, se busca cuantificar y minimizar los efectos negativos sobre especies y ecosistemas de Acacias.

Participación Comunitaria

Otro componente clave es el fortalecimiento de la participación comunitaria. El World Bank y la IFC resaltan que un mecanismo efectivo de participación y gestión de reclamos (grievance mechanism) incrementa la aceptación social y mejora los resultados ambientales (IFC, 2019). Incorporar la perspectiva de comunidades rurales, productores agrícolas y líderes locales permitirá ajustar el trazado y las medidas de compensación basadas en las condiciones reales del territorio.

Implicaciones para la Política Pública

Finalmente, este proyecto tiene implicaciones de Política Pública y Desarrollo Organizacional. Propone una ruta metodológica que puede replicarse en otras regiones en expansión energética, fortaleciendo las capacidades institucionales de planificación estratégica. Asimismo, genera resultados concretos: una evaluación técnica detallada, un diagnóstico ambiental de línea de base, un mapa de restricciones territoriales, un plan de manejo ambiental y

recomendaciones para seguimiento y gobernanza ambiental eficaz. En consecuencia, la justificación del estudio radica en la oportunidad de proponer una solución integral que garantice un suministro energético confiable y sostenible hasta el 2030, minimizando impactos ecológicos, fortaleciendo el tejido social y aportando a la gestión pública de la región. Representa un aporte significativo tanto a la ingeniería aplicada como a la gobernanza ambiental de proyectos de energía.

Viabilidad Técnica

La viabilidad del presente estudio se sustenta en la disponibilidad de información técnica y ambiental proporcionada por entidades oficiales como la Unidad de Planeación Minero-Energética (2018) UPME, la ANLA, la EMSA y el DNP, cuyas bases de datos públicas y estudios previos constituyen insumos clave para el diagnóstico y la proyección de impactos. A nivel local, el municipio de Acacías cuenta con Planes de Ordenamiento Territorial (POT), estudios ambientales regionales y actores institucionales dispuestos a facilitar el acceso a información relevante, lo cual refuerza la factibilidad técnica del proyecto. Asimismo, la experiencia del autor en el sector eléctrico y su vinculación laboral en la región le permiten acceder de manera directa a datos operativos, registros históricos y fuentes primarias con pertinencia territorial. El uso de herramientas SIG, software de modelado y metodologías existentes en el país garantiza una ejecución viable en términos de recursos técnicos y humanos.

Cronograma y Plazo

En cuanto al plazo, el estudio está proyectado para desarrollarse en un periodo de 12 meses, la implementación que se propone en la hoja de ruta se proyecta a 24 meses (fase de obras y estabilización), con una fase de implementación metodológica que se ajusta a los

calendarios institucionales y de licenciamiento ambiental locales, lo que asegura su factibilidad en el contexto real del municipio.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar integralmente el impacto ambiental asociado al incremento de la oferta de energía eléctrica proyectada mediante la línea de transmisión eléctrica “La Reforma – San Fernando” y posibles alternativas, considerando lineamientos técnicos, territoriales y ambientales que garanticen la confiabilidad del suministro y la sostenibilidad ecológica hacia el año 2030.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el estado actual del sistema de transmisión eléctrica en el municipio de Acacías, incluyendo su capacidad instalada, nivel de cobertura, puntos críticos de sobrecarga y condiciones operativas, para establecer una línea de base técnica y ambiental con corte a diciembre de 2024, lo cual servirá como referencia para las proyecciones al 2030.

Analizar las proyecciones de demanda eléctrica y las actuales condiciones técnicas de la red en Acacías que evidencien la urgente necesidad de expansión.

Identificar posibles alternativas técnicas de trazado para la línea de transmisión, teniendo en cuenta aspectos ambientales, sociales, y del territorio.

Caracterizar los impactos ambientales potenciales y acumulativos derivados del incremento proyectado de la oferta energética hasta el año 2030, utilizando metodologías cualitativas y cuantitativas de evaluación ambiental bajo los lineamientos establecidos por la ANLA.

Formular una propuesta técnica integral de expansión eléctrica sostenible, que contemple criterios de mitigación ambiental, mecanismos de participación comunitaria y pertinencia territorial, viable técnica y normativamente, con un horizonte de implementación gradual entre 2025 y 2030.

Alcances y Limitaciones

Delimitación Espacial

Esta investigación se desarrolla en el municipio de Acacías, ubicado en el departamento del Meta, Colombia. El estudio se concentra en analizar los impactos ambientales ocasionados por la expansión de la infraestructura eléctrica mediante la construcción de la línea de transmisión “La Reforma – San Fernando”, de 230 kV, y sus obras complementarias. Este proyecto atraviesa zonas rurales del municipio y afecta ecosistemas locales, lo que implica la necesidad de evaluar, desde una perspectiva técnica y ambiental, los efectos directos e indirectos derivados del aumento en la oferta de energía previsto para el año 2030.

El análisis se circunscribe a un área de influencia definida geográficamente por el trazado proyectado de la línea, el cual tiene una longitud aproximada de 35 kilómetros, e incluye las franjas laterales requeridas para actividades de acceso, construcción, mantenimiento y operación.

Desde el punto de vista espacial, el trabajo se limita al corredor físico por donde transcurrirá la infraestructura, así como a las zonas contiguas que podrían experimentar alteraciones en la cobertura vegetal, la estructura del suelo, la hidrología o la biodiversidad. Este territorio comprende áreas de uso agropecuario, fragmentos de bosque húmedo tropical, microcuencas abastecedoras de agua y terrenos habitados por comunidades rurales que desarrollan actividades productivas de pequeña escala.

Delimitación Temática

El área de estudio incluye, por tanto, tanto el entorno natural como el entorno social, dado que ambos se ven afectados por el tipo de intervención proyectada. La delimitación también responde a los criterios técnicos definidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

(ANLA), la cual establece que el área de influencia debe corresponder con los espacios en los que se manifiestan impactos significativos sobre los medios físico, biótico y humano.

En cuanto a los componentes evaluados, el estudio se centrará en el medio abiótico, considerando posibles modificaciones en la calidad del suelo, los patrones de escorrentía, la generación de sedimentos, el riesgo de erosión y otros efectos físicos asociados a las obras de infraestructura. En el medio biótico se estudiarán impactos sobre la cobertura vegetal, la fragmentación de hábitats, la alteración de corredores ecológicos y las amenazas a especies sensibles, particularmente aves, que pueden verse afectadas por colisiones o desplazamientos. En el componente socioeconómico se prestará atención a los cambios en el uso del suelo, las percepciones de riesgo por parte de las comunidades locales, los efectos sobre actividades económicas tradicionales y las dinámicas sociales generadas a partir de la implementación del proyecto.

Delimitación Temporal

Temporalmente, el estudio abarcará tres fases fundamentales: el análisis del estado actual del sistema eléctrico y del entorno ambiental en el año 2024, la evaluación del impacto durante el periodo de construcción comprendido entre 2025 y 2028, y la proyección de los efectos y condiciones esperadas durante la operación del sistema entre 2029 y 2030. Esta segmentación permite observar los cambios en el territorio a corto, mediano y largo plazo, y facilita la identificación de impactos que pueden evolucionar o acumularse con el tiempo. Al enfocarse en este horizonte temporal, la investigación se alinea con las proyecciones de crecimiento energético definidas por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2020), que calcula un incremento de la demanda nacional hasta los 14,4 GW en 2030, con efectos particulares en regiones como el Meta que registran dinámicas aceleradas de crecimiento (UPME, 2024). La

delimitación conceptual de este estudio excluye componentes técnicos ajenos a la red de transmisión, como lo son las redes de distribución domiciliaria o la infraestructura de generación. Asimismo, no se abordarán temas relacionados con análisis financiero, comercialización de energía ni tarifas. La investigación tampoco profundizará en temas de salud humana vinculados a la exposición a campos electromagnéticos, aunque se reconocerán como parte del contexto general del proyecto. Finalmente, no se desarrollará un análisis legal detallado sobre procesos de adquisición predial o compensación económica, si bien se tendrán en cuenta las normativas ambientales vigentes en el país.

Marcos de Referencia

Marco teórico

La expansión de la infraestructura energética en Colombia, particularmente en proyectos de transmisión eléctrica como la línea “La Reforma – San Fernando”, pone en el centro del debate la necesidad de contar con marcos teóricos sólidos que permitan comprender, analizar y mitigar los impactos ambientales, sociales y normativos derivados de estas intervenciones. La evaluación del componente ambiental en proyectos energéticos no constituye únicamente un requisito legal o administrativo, sino que se erige como un instrumento esencial para garantizar que las decisiones de desarrollo respondan a criterios de sostenibilidad y justicia social. En este sentido, el marco teórico de la investigación debe resaltar la importancia de integrar de manera armónica los enfoques técnicos de la ingeniería eléctrica con las dimensiones ecológicas, sociales y regulatorias que condicionan la viabilidad de los proyectos.

En las últimas décadas, la planificación energética ha estado marcada por tensiones entre el crecimiento de la demanda y la conservación de los ecosistemas. Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2024), la demanda de energía en Colombia crecerá a un ritmo de 2,38 % anual hasta 2038, lo que evidencia la necesidad de ampliar la red de transmisión. Sin embargo, gran parte de los proyectos de expansión se ubican en territorios rurales y ambientalmente sensibles, como el piedemonte llanero, donde la interacción entre ecosistemas frágiles y comunidades vulnerables plantea retos adicionales para la gobernanza ambiental. La experiencia reciente demuestra que, cuando la expansión energética no contempla la integralidad ambiental, los conflictos sociales se agudizan, generando retrasos en las obras, pérdida de confianza institucional y daños irreversibles a la biodiversidad (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018).

En este contexto, el marco teórico propuesto busca fundamentar el análisis desde una perspectiva interdisciplinaria. La evaluación del componente ambiental se convierte en el eje articulador que conecta la gestión técnica del sistema eléctrico con la valoración ecológica del territorio y con los derechos sociales de las comunidades afectadas. La literatura internacional ha resaltado que la sostenibilidad energética solo es posible cuando los proyectos incorporan instrumentos robustos de evaluación de impactos, mecanismos de participación comunitaria y marcos regulatorios alineados con estándares globales (International Energy Agency & OECD, 2023). La mirada integrada permite comprender que los proyectos energéticos son más que infraestructuras físicas: son intervenciones territoriales con implicaciones socioecológicas profundas.

Este marco también resalta la necesidad de abordar el problema desde la perspectiva de la administración de organizaciones, dado que los proyectos de transmisión eléctrica no son únicamente iniciativas de ingeniería, sino también procesos de gestión que involucran múltiples actores, instituciones y niveles de decisión. La manera en que se organizan las relaciones entre Estado, empresas y comunidades resulta decisiva para garantizar la aceptación social y la sostenibilidad ambiental de la infraestructura (Fischer, Miller & Cooper, 2017). Por ello, un marco teórico bien estructurado debe fundamentar no solo las herramientas técnicas, sino también los enfoques de gobernanza y regulación que orientan el desarrollo del sector energético.

De esta manera, la presentación del tema en el marco teórico se centra en destacar la importancia de la evaluación ambiental como columna vertebral del análisis. A través de esta aproximación, se reconoce que el desafío en territorios como Acacias no radica únicamente en suplir la demanda creciente de energía, sino en garantizar que las decisiones adoptadas fortalezcan la resiliencia ecológica, la equidad social y la legitimidad institucional. En

consecuencia, la construcción de este marco permitirá sentar las bases conceptuales y metodológicas necesarias para evaluar de manera integral el impacto ambiental del proyecto, vinculando los componentes técnicos, sociales y normativos que configuran el objeto de estudio.

Impacto Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

El concepto de impacto ambiental ha evolucionado a medida que las sociedades han reconocido la interdependencia entre las actividades humanas y los sistemas ecológicos. En términos generales, un impacto ambiental se entiende como cualquier cambio significativo en el entorno físico, biótico o social, positivo o negativo, derivado directa o indirectamente de un proyecto, obra o actividad (Glasson, Therivel & Chadwick, 2013). En proyectos energéticos, estos impactos suelen estar asociados con la transformación de ecosistemas, la fragmentación del paisaje, la presión sobre fuentes hídricas y la alteración de las dinámicas comunitarias. La magnitud de estos efectos obliga a que su análisis trascienda el cumplimiento normativo para convertirse en un proceso técnico y social que garantice sostenibilidad y legitimidad.

En este contexto, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se ha consolidado como un instrumento técnico–jurídico diseñado para prever, identificar y valorar las consecuencias ambientales de los proyectos antes de su ejecución. En Colombia, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2022) establece que la EIA debe abordar de manera integral los componentes físico, biótico y social, considerar alternativas de diseño y proponer medidas de mitigación y compensación. Su carácter jurídico radica en que constituye un requisito para el otorgamiento de licencias ambientales, de acuerdo con la Ley 99 de 1993 y el Decreto 1076 de 2015. Más allá de su valor normativo, la EIA es una herramienta estratégica de planificación que permite tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de los proyectos (Toro, Requena & Zamorano, 2010).

En los enfoques contemporáneos, la EIA se concibe como un proceso participativo y adaptativo, que acompaña al proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. El Banco Interamericano de Desarrollo (2015) enfatiza que la evaluación debe incluir indicadores de biodiversidad, riesgos acumulativos y mecanismos de seguimiento continuo, con el fin de garantizar que las medidas de mitigación no se conviertan en simples requisitos formales. La literatura académica también resalta que la efectividad de la EIA depende en gran medida de su capacidad para articular dimensiones sociales, técnicas y territoriales. Fischer, Miller y Cooper (2017) identifican que las deficiencias más frecuentes radican en la omisión de impactos acumulativos y en la limitada participación de actores locales.

En Colombia, y particularmente en el Meta, los retos de la EIA son evidentes. Proyectos como Guamal–San Fernando o la ampliación de la subestación San Fernando muestran que la valoración de impactos acumulativos es aún incipiente y que los procesos de consulta comunitaria han sido deficientes, generando conflictos socioambientales (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018). En territorios como Acacías, donde confluyen ecosistemas sensibles y dinámicas de expansión agroindustrial y urbana, los impactos ambientales no pueden evaluarse de manera aislada. La fragmentación del hábitat, la presión sobre microcuencas y la modificación del uso del suelo tienen efectos acumulativos que, al no ser considerados, terminan debilitando la resiliencia ecológica y social.

En consecuencia, la EIA debe configurarse como un eje articulador en la planeación energética sostenible. Su aplicación rigurosa fortalece la gobernanza ambiental, incrementa la viabilidad social de los proyectos, reduce costos derivados de conflictos y contribuye a garantizar la conservación de la biodiversidad en el largo plazo. Para el proyecto “La Reforma – San Fernando”, el análisis de impacto ambiental representa una oportunidad de trascender la visión

procedimental y avanzar hacia un enfoque integral, participativo y prospectivo, en línea con estándares internacionales de sostenibilidad (International Energy Agency & OECD, 2023).

Modelos DPSIR y Matriz de Leopold

La necesidad de contar con herramientas metodológicas para comprender y evaluar los impactos ambientales ha impulsado la adopción de modelos causales y matrices de valoración que permiten estructurar la información y orientar la toma de decisiones. Entre las metodologías más utilizadas en proyectos de infraestructura energética destacan el modelo DPSIR (Drivers–Pressures–State–Impact–Response) y la Matriz de Leopold.

El modelo DPSIR, desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, parte del principio de que las actividades humanas ejercen presiones sobre los ecosistemas, modifican su estado y generan impactos que requieren respuestas sociales e institucionales (Kristensen, 2004). En proyectos de transmisión eléctrica, el *driver* corresponde al aumento de la demanda energética y la necesidad de expandir la capacidad del sistema; las presiones se manifiestan en la transformación del uso del suelo, apertura de corredores de servidumbre y procesos de deforestación; el estado refleja los cambios en los ecosistemas locales, como la pérdida de conectividad o la reducción de caudales hídricos; los impactos incluyen la fragmentación del hábitat, la reducción de biodiversidad y los conflictos sociales; finalmente, las respuestas comprenden desde medidas de mitigación ambiental hasta procesos de gobernanza y participación comunitaria.

El valor del DPSIR radica en su capacidad para organizar relaciones causales y facilitar la selección de indicadores de presión, estado, impacto y respuesta (EEA, 2018). Yin et al. (2025), en un estudio aplicado a proyectos de transmisión en China, demostraron que este modelo

permite identificar corredores ecológicos vulnerables y orientar medidas de restauración y compensación, lo que respalda su pertinencia en el contexto colombiano.

Por otra parte, la Matriz de Leopold, desarrollada en 1971, constituye una de las primeras metodologías sistemáticas para valorar impactos ambientales (Leopold et al., 1971). Su estructura bidimensional cruza las acciones de un proyecto (como la construcción de torres, apertura de vías de acceso o tendido de cables) con los factores ambientales susceptibles de afectación (suelo, agua, fauna, paisaje, comunidades). Cada intersección se califica en términos de magnitud y significancia, lo que permite construir una visión comparativa y priorizar los efectos del proyecto.

En Colombia, la Matriz de Leopold ha sido aplicada en diversos estudios de impacto ambiental, incluyendo proyectos de transmisión en la Orinoquía. Su ventaja es la simplicidad y la posibilidad de integrar información cualitativa y cuantitativa en un mismo esquema. Sin embargo, autores como Toro, Requena y Zamorano (2010) advierten que esta metodología tiende a subestimar los impactos acumulativos o sinérgicos, por lo que recomiendan complementarla con modelos causales como el DPSIR.

La combinación de ambas metodologías ofrece un marco robusto para el análisis integral: mientras el DPSIR explica la lógica causal de los impactos y orienta la construcción de indicadores, la Matriz de Leopold proporciona una herramienta práctica de valoración comparativa. Para el caso del proyecto “La Reforma – San Fernando”, esta integración permitirá identificar tanto impactos directos como acumulativos, fortaleciendo la comprensión de cómo las presiones del desarrollo energético afectan la resiliencia de ecosistemas y comunidades locales. A continuación, se presenta las matrices DPSIR y Leopold resultantes para los indicadores ambientales, así como el resumen de la ponderación:

Tabla 1.*DPSIR Indicadores ambientales*

Componente	Descripción	Peso	Valoración (1-5)
Presión: deforestación	Tala y conversión de suelo	0,2	3
Presión: emisiones	Emisiones por obra y movilización	0,15	2
Estado: cobertura forestal	Reducción de la cobertura boscosa	0,25	3
Impacto: pérdida hábitat	Reducción de biodiversidad y fragmentación	0,25	2
Respuesta: reforestación	Medidas de restauración y compensación	0,15	4

Nota. En la tabla se describen los indicadores ambientales. *Fuente:* Toro, Requena y Zamorano (2010)

Tabla 2.*Leopold indicadores ambientales*

Actividad	Magnitud	Importancia	Puntuación (Magnitud x Importancia)
Tendido de línea	3	3	9
Construcción de subestación	4	4	16
Acceso vial	2	2	4

Nota. En la tabla se observan los indicadores ambientales Leopold. *Fuente:* Toro, Requena y Zamorano

(2010)

Tabla 3.*Resumen de la ponderación*

Criterio	Peso	Observaciones
Biótico	0,4	Conservación especies
Abiótico	0,35	Suelo, agua
Social	0,25	Comunidad y uso del suelo

Nota. En la tabla se presenta el resumen de la ponderación. *Fuente:* Toro, Requena y Zamorano (2010)

Fragmentación Ecológica

Uno de los impactos más frecuentes en proyectos de infraestructura lineal —como carreteras, oleoductos y líneas de transmisión eléctrica— es la fragmentación ecológica. Este concepto hace referencia a la división de un ecosistema continuo en fragmentos aislados,

reduciendo la conectividad del paisaje, alterando los flujos ecológicos y amenazando la viabilidad de especies (Forman, 1995).

La literatura científica demuestra que las infraestructuras lineales funcionan como barreras físicas y funcionales. Yin et al. (2025), en un estudio sobre transmisión eléctrica en Shandong (China), encontraron que estas obras reducen significativamente la conectividad ecológica y alteran la distribución de aves y mamíferos. De manera similar, una revisión sistemática publicada en *Environmental Impact Assessment Review* identificó que los tendidos eléctricos incrementan la mortalidad de aves por colisiones, afectan los patrones de migración y facilitan la expansión de especies invasoras (Power lines and impacts on biodiversity, 2018).

En Colombia, la fragmentación ecológica es particularmente crítica en regiones de expansión agroindustrial y urbana, como el Meta. La apertura de corredores de servidumbre para proyectos de transmisión implica la remoción de cobertura vegetal y la interrupción de corredores biológicos. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA, 2022) señala que estos proyectos deben contemplar estudios específicos sobre conectividad ecológica y diseñar medidas de mitigación, como pasos de fauna, restauración de corredores y programas de reforestación compensatoria.

Además de los impactos sobre la biodiversidad, la fragmentación afecta directamente los servicios ecosistémicos. La reducción de la cobertura forestal incrementa la erosión, disminuye la calidad del agua y altera la regulación climática local. Cornare (2019) advierte que la pérdida de conectividad ecológica limita la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios de soporte, lo que impacta negativamente a las comunidades rurales. En Acacías, ello podría traducirse en menor disponibilidad de agua para pequeños productores, pérdida de fertilidad del suelo y mayor vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos.

Frente a estos retos, la literatura recomienda el uso de herramientas de análisis espacial, como los modelos de conectividad de paisaje, que permiten identificar nodos críticos y proponer alternativas de trazado con menor impacto (Galvis & Porras, 2021). Asimismo, la aplicación de la jerarquía de mitigación —evitar, minimizar, restaurar y compensar— es clave para reducir la pérdida neta de biodiversidad (IFC, 2012).

En conclusión, la fragmentación ecológica constituye uno de los impactos más relevantes en proyectos de transmisión eléctrica. En el caso de Acacías, donde confluyen ecosistemas de alto valor y comunidades dependientes de servicios ecosistémicos, su evaluación será central para garantizar que la expansión energética no comprometa la integridad ecológica ni el bienestar social del territorio.

Sistemas socio-Ecológicos

El concepto de sistemas socio-ecológicos ha cobrado relevancia en los estudios ambientales porque permite entender que los ecosistemas y las sociedades humanas no son esferas independientes, sino unidades interdependientes que coevolucionan en un mismo territorio. Un sistema socio-ecológico se define como un complejo integrado de ecosistemas y comunidades humanas en interacción dinámica, cuya resiliencia depende de la capacidad de absorber perturbaciones y reorganizarse sin perder sus funciones esenciales (Folke et al., 2010). En el contexto de proyectos energéticos, este enfoque resulta indispensable, ya que la infraestructura eléctrica no solo transforma el medio físico y biótico, sino que también reconfigura prácticas productivas, estructuras comunitarias y percepciones sociales.

En regiones como Acacías, el análisis de los sistemas socio ecológicos adquiere una importancia particular. La construcción de la línea “La Reforma – San Fernando” atraviesa territorios rurales donde comunidades campesinas dependen de servicios ecosistémicos como el

agua, la fertilidad del suelo y la conectividad ecológica para sostener su producción agrícola. La intervención en el paisaje, por tanto, tiene un doble impacto: altera la estructura ecológica y modifica las condiciones de bienestar social. Esta interacción demuestra que los impactos ambientales no pueden evaluarse de manera aislada, sino en relación con las dinámicas socioeconómicas y culturales de las comunidades locales (Cornare, 2019).

Un elemento clave en el análisis socio-ecológico es la resiliencia, entendida como la capacidad del sistema para enfrentar perturbaciones y adaptarse a nuevas condiciones. Holling (1973) introdujo este concepto para describir cómo los sistemas naturales y sociales se reorganizan frente a cambios abruptos. En proyectos energéticos, la resiliencia territorial se mide en función de la capacidad de los ecosistemas para mantener la provisión de servicios y de las comunidades para sostener sus medios de vida frente a la expansión de infraestructura. En el caso de Acacías, el riesgo de fragmentación ecológica, sumado a la presión agroindustrial y urbana, pone en entredicho la capacidad de adaptación del sistema socio-ecológico local.

La literatura internacional coincide en que la gestión sostenible de sistemas socio-ecológicos requiere integrar ciencia, política y participación social. El Panel Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES, 2019) subraya que los sistemas socio-ecológicos más resilientes son aquellos en los que las decisiones territoriales incluyen mecanismos de gobernanza multinivel y conocimiento local. En este sentido, la evaluación del impacto ambiental de la línea “La Reforma – San Fernando” debe contemplar no solo variables ecológicas, sino también la percepción de los actores rurales y la forma en que el proyecto afecta la cohesión social y las prácticas culturales.

En conclusión, la noción de sistemas socio-ecológicos proporciona un marco integral para analizar los efectos de los proyectos de transmisión eléctrica. Al reconocer la

interdependencia entre naturaleza y sociedad, este enfoque permite identificar sinergias y conflictos que no son visibles bajo metodologías convencionales, ofreciendo herramientas para diseñar medidas de mitigación y adaptación que fortalezcan tanto la resiliencia ecológica como la social del territorio.

Participación Social en Proyectos Ambientales

La participación social constituye un componente central en los procesos de evaluación y gestión ambiental, pues asegura que los proyectos no se definan únicamente desde perspectivas técnicas o institucionales, sino que incorporen las percepciones, conocimientos y expectativas de las comunidades directamente afectadas. De acuerdo con la Corporación Financiera Internacional (IFC, 2012), la participación efectiva se traduce en consultas significativas, mecanismos de retroalimentación y procedimientos accesibles de gestión de reclamos. En proyectos energéticos de gran escala, donde los impactos ambientales y sociales son significativos, la participación social resulta no solo un derecho, sino también un factor determinante para la viabilidad y legitimidad del proyecto.

En Colombia, la Ley 99 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993) reconoce el derecho de las comunidades a ser informadas y consultadas sobre proyectos que puedan afectar el medio ambiente. Sin embargo, en la práctica, este mandato enfrenta dificultades. Investigaciones sobre proyectos de transmisión en el Meta evidencian que los procesos de participación suelen ser formales y limitados, lo que genera desconfianza y, en ocasiones, resistencia social (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018). Estos déficits en la gobernanza ambiental se han traducido en conflictos, retrasos en las obras y costos adicionales para los operadores.

Modelos de gobernanza ambiental más avanzados sugieren que la participación debe ir más allá de la consulta, incorporando esquemas de cogestión en los que las comunidades tengan un rol activo en la planificación, monitoreo y seguimiento del proyecto. Arnstein (1969), en su célebre “escalera de la participación ciudadana”, diferencia entre participación simbólica y participación efectiva, siendo esta última la que permite a los actores locales incidir de manera real en las decisiones. Adaptado al contexto rural colombiano, este enfoque implica que los campesinos, productores y líderes comunitarios de Acacías no solo sean informados del trazado de la línea, sino que puedan participar en la definición de medidas de mitigación y compensación.

Los estándares internacionales refuerzan esta idea. El Banco Mundial y la IFC subrayan la importancia de los mecanismos de *grievance redress* o gestión de reclamos, que permiten canalizar de manera estructurada las inconformidades comunitarias, evitando que se transformen en conflictos abiertos (IFC, 2019). Estos mecanismos, al ser implementados de forma transparente y accesible, fortalecen la confianza entre empresas, Estado y comunidades. En experiencias internacionales, como la expansión de redes de transmisión en América Latina, la implementación temprana de procesos de diálogo y de mecanismos de participación vinculante ha reducido significativamente la conflictividad social (BID, 2015).

Para el caso de Acacías, la participación social en el proyecto “La Reforma – San Fernando” debe garantizar que las comunidades rurales comprendan los impactos acumulativos y participen activamente en la construcción de soluciones. Esto no solo incrementa la aceptación social del proyecto, sino que asegura que las medidas de compensación respondan a las necesidades locales, fortaleciendo la pertinencia territorial.

En síntesis, la participación social es un elemento transversal que incide en la calidad de los estudios de impacto ambiental y en la sostenibilidad de los proyectos energéticos. Su implementación efectiva en Acacías constituye una oportunidad para avanzar hacia modelos de gobernanza ambiental más inclusivos, donde la energía no solo sea vista como un recurso técnico, sino como un bien común cuya gestión debe responder a los intereses colectivos y al respeto por la biodiversidad.

Sostenibilidad y Justicia Ambiental

El concepto de sostenibilidad ambiental ha trascendido en las últimas décadas como principio rector para proyectos de infraestructura, en particular aquellos relacionados con la energía. La sostenibilidad implica satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, lo cual requiere equilibrar dimensiones ecológicas, técnicas e institucionales (Sachs, 1993). En proyectos energéticos como la línea “La Reforma – San Fernando”, esta noción se expresa en la necesidad de expandir la capacidad de transmisión de energía sin provocar pérdidas irreversibles de biodiversidad ni comprometer los derechos de las comunidades locales.

En este marco, la justicia ambiental se convierte en un complemento indispensable de la sostenibilidad. Se entiende como el principio que busca distribuir equitativamente los beneficios y las cargas ambientales, evitando que comunidades rurales y grupos vulnerables soporten de manera desproporcionada los efectos negativos de la infraestructura (Schlosberg, 2007). En territorios como Acacías, donde la población rural depende directamente de los recursos naturales, la justicia ambiental exige que las medidas de mitigación y compensación respondan a las necesidades locales y promuevan un desarrollo territorial equitativo.

Los estándares internacionales, como los de la Corporación Financiera Internacional (IFC, 2012), establecen que los proyectos en áreas ambientalmente sensibles deben garantizar la “no pérdida neta de biodiversidad” y aplicar la jerarquía de mitigación: evitar, reducir, restaurar y compensar. Asimismo, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 2024) promueve la transición energética justa como un proceso que, además de reducir emisiones y ampliar la cobertura, respete los derechos de las comunidades y fortalezca sus capacidades de adaptación. Estos principios deben ser aplicados en proyectos de transmisión eléctrica para asegurar que la sostenibilidad no sea un concepto retórico, sino una práctica verificable.

El reto principal en Colombia radica en articular sostenibilidad y justicia ambiental en un contexto donde los proyectos suelen priorizar la viabilidad técnica y económica sobre los criterios sociales y ecológicos. En el Meta, experiencias recientes han mostrado que la falta de justicia ambiental —expresada en consultas comunitarias limitadas y compensaciones poco pertinentes— ha intensificado los conflictos socioambientales (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018). Por lo tanto, el enfoque propuesto en este trabajo busca garantizar que la expansión energética se alinee con los principios de sostenibilidad ecológica y justicia social, asegurando que la infraestructura fortalezca, y no debilite, la resiliencia del territorio.

Limitaciones

Pese a la existencia de marcos conceptuales, normativos y metodológicos sólidos, la evaluación ambiental en proyectos de transmisión eléctrica enfrenta importantes limitaciones. Una de las más relevantes es la dificultad para incorporar de manera adecuada los impactos acumulativos y sinérgicos. Como señalan Fischer, Miller y Cooper (2017), la mayoría de los Estudios de Impacto Ambiental se concentran en efectos inmediatos y aislados, sin considerar cómo múltiples proyectos en un mismo territorio interactúan y amplifican sus impactos. En

regiones como el Meta, donde confluyen proyectos agroindustriales, petroleros y energéticos, esta omisión genera un subregistro de los riesgos reales para los ecosistemas y comunidades.

Otra limitación corresponde a las debilidades institucionales. Aunque la ANLA y las corporaciones autónomas regionales cuentan con mandatos normativos claros, sus capacidades técnicas y financieras para realizar seguimiento y control suelen ser insuficientes. Esto provoca que muchos planes de manejo ambiental se queden en el papel, sin una verificación efectiva de su implementación (Cornare, 2019). Asimismo, la falta de articulación entre entidades nacionales y locales reduce la coherencia en la gestión ambiental y genera vacíos en la gobernanza del territorio.

Las limitaciones también se manifiestan en el ámbito metodológico. Herramientas como la Matriz de Leopold o el modelo DPSIR son útiles, pero pueden simplificar la complejidad de los sistemas socio-ecológicos. El primero tiende a sobrerrepresentar impactos directos y subestimar los acumulativos; el segundo, aunque estructurado, puede resultar lineal para fenómenos dinámicos y adaptativos (Toro et al., 2010). En consecuencia, la triangulación de metodologías, la inclusión de conocimiento local y el uso de tecnologías de análisis espacial deben ser considerados para superar estas restricciones.

Finalmente, se identifican limitaciones de carácter social. La participación comunitaria, aunque reconocida como fundamental, en la práctica suele reducirse a mecanismos formales de información, sin garantizar un diálogo real y vinculante. Esto genera desconfianza y aumenta la conflictividad socioambiental, lo que a su vez retrasa los proyectos y eleva sus costos (Asociación Ambiente y Sociedad, 2018).

Reconocer estas limitaciones es esencial para proponer estrategias que fortalezcan la efectividad de la evaluación ambiental. En el caso de Acacías, ello implica diseñar un enfoque

que supere el formalismo normativo y que, mediante herramientas técnicas y participación social significativa, logre construir una propuesta de expansión energética sostenible y legítima.

Marco conceptual

El marco conceptual de esta investigación establece las bases teóricas y metodológicas que sustentan el análisis del impacto ambiental derivado de la expansión de la línea de transmisión “La Reforma – San Fernando” en el municipio de Acacías. Para ello, se integran teorías de la evaluación de impacto ambiental (EIA), ecología del paisaje, sostenibilidad ambiental, participación social, sistemas socio-ecológicos, y marcos regulatorios, con herramientas metodológicas como el modelo DPSIR y la matriz de Leopold. Esta integración permite abordar el objeto de estudio desde una perspectiva sistémica, crítica y operativa, estableciendo indicadores concretos que guiarán la investigación.

Indicadores y Variables Clave

Con base en la matriz compartida, el estudio utilizará un conjunto de indicadores cuantitativos verificados por métodos reconocidos. Entre ellos destacan:

Calidad del suelo: variación porcentual de materia orgánica y nutrientes (N, P, K), obtenida mediante análisis de laboratorio;

Erosión y estabilidad: tasa de erosión en ton/ha/año, calculada por modelación hídrica y mediciones en campo;

Cobertura del suelo: porcentaje de conversión de áreas naturales a suelo intervenido y extensión de franjas construidas, con base en análisis SIG;

Fragmentación del hábitat: conectividad ecológica medida con mapas de densidad de corredores;

Participación social: grado de percepción de afectación ambiental y grado de aceptación del proyecto, medido con encuestas y entrevistas semiestructuradas.

Estos indicadores permiten caracterizar y monitorear los efectos del proyecto, así como valorar la eficacia de las medidas de mitigación propuestas.

Ecología del Paisaje y Fragmentación Ecológica

Desde la ecología del paisaje, la infraestructura de transmisión es comprendida como una estructura lineal que introduce barreras físicas y funcionales, generando fragmentación del hábitat, pérdida de conectividad y interrupción de flujos ecológicos. Esta investigación utilizará herramientas de análisis espacial (coste acumulado, mapas de conectividad) para medir la resistencia ecológica y proponer alternativas de trazado que minimicen el efecto de barrera. Esta dimensión es esencial en un territorio como Acacías, que posee relictos de bosque húmedo tropical, áreas de importancia hídrica y corredores ecológicos regionales.

Sistemas Socio-Ecológicos y Resiliencia Territorial

Acacías será abordado como un sistema socio-ecológico, es decir, una unidad funcional donde co-evolucionan factores bióticos, abióticos y sociales. La resiliencia de este sistema depende de su capacidad para absorber perturbaciones sin colapsar. En este sentido, se analizará cómo la infraestructura eléctrica afecta no solo al medio natural, sino también a las dinámicas productivas locales, las redes de gobernanza ambiental y la percepción comunitaria. La participación de actores rurales se integra no como elemento decorativo, sino como componente activo del sistema.

Participación social: Teorías y Aplicación

El estudio adopta el enfoque de participación significativa, conforme a los estándares establecidos por la Corporación Financiera Internacional (IFC) y el Banco Mundial, según los

cuales la legitimidad de un proyecto depende de la existencia de mecanismos accesibles, inclusivos y vinculantes para la consulta y el manejo de reclamos. Se utilizarán marcos como el modelo de escalera de participación de Arnstein, adaptado al contexto rural, para analizar el grado de apropiación de las decisiones por parte de la población directamente afectada.

Sostenibilidad Ambiental: Principios Rectores

La sostenibilidad en este estudio se interpreta en su dimensión ecológica, institucional y técnica. Desde la perspectiva de Sachs (1993) y los enfoques actuales de transición energética justa (UNDP, 2024), se buscará garantizar que el proyecto no comprometa la capacidad ecológica del territorio, incorpore mecanismos de justicia ambiental y contribuya al desarrollo territorial armónico. En ese sentido, el diseño metodológico incluirá criterios de no pérdida neta de biodiversidad, mitigación jerárquica (evitar, reducir, compensar) y monitoreo adaptativo.

Análisis Crítico y Limitaciones

Si bien los marcos teóricos seleccionados ofrecen una base sólida, no están exentos de limitaciones. El modelo DPSIR puede resultar lineal en entornos adaptativos; la matriz de Leopold puede sobre simplificar relaciones ecológicas complejas; y el sistema normativo colombiano, aunque avanzado en el papel, enfrenta debilidades estructurales en el seguimiento y control. Este estudio buscará superar estas limitaciones mediante triangulación metodológica, inclusión de saberes locales y construcción de indicadores verificables y contextuales, con base en herramientas técnicas y diálogo territorial.

Marco Legal

La evaluación ambiental y la expansión de infraestructura energética en Colombia están regidas por un marco normativo robusto, aunque complejo, que integra leyes nacionales, decretos reglamentarios y estándares internacionales. La Ley 99 de 1993 constituye la piedra

angular de la legislación ambiental en el país, al crear el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y establecer la obligación de realizar estudios de impacto ambiental para proyectos susceptibles de generar efectos significativos. Posteriormente, el Decreto 1076 de 2015 compiló y actualizó la normativa ambiental, precisando el contenido mínimo de los Estudios de Impacto Ambiental (Ministerio de Ambiente, 2015).

En el ámbito específico de proyectos de transmisión eléctrica, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) expide lineamientos que definen los criterios técnicos para evaluar impactos sobre el medio físico, biótico y social (ANLA, 2022). Estos documentos establecen que los estudios deben contemplar alternativas de trazado, análisis de conectividad ecológica y planes de manejo ambiental adaptados al contexto territorial.

A nivel internacional, los proyectos energéticos en Colombia suelen regirse también por estándares de entidades multilaterales. La Corporación Financiera Internacional (IFC, 2012), en su Estándar de Desempeño 6, exige la conservación de hábitats críticos y la aplicación de medidas de compensación para garantizar la no pérdida neta de biodiversidad. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2015) incluye guías para evaluar riesgos sobre la biodiversidad, mientras que la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) recomiendan incorporar criterios de sostenibilidad y transición energética justa en los proyectos de transmisión (IEA & OECD, 2023).

Este marco normativo tiene implicaciones directas para el caso de Acacias. La línea “La Reforma – San Fernando” deberá cumplir no solo con la normativa colombiana, sino también con los estándares internacionales aplicables en proyectos financiados con recursos multilaterales. No obstante, la principal dificultad no radica en la existencia de normas, sino en

su implementación efectiva. En muchos casos, las licencias se otorgan con base en estudios que cumplen formalidades, pero carecen de profundidad en la valoración de impactos acumulativos y en la participación comunitaria (Toro, Requena & Zamorano, 2009). Esta brecha entre la norma y la práctica constituye uno de los principales retos de la gobernanza ambiental en Colombia.

Marco Normativo y Regulación Energética

La investigación se fundamenta en el Decreto 1076 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015) que reglamenta la evaluación ambiental en Colombia, la Ley 99 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993) y las guías técnicas de la ANLA. A nivel internacional, se consideran los Principios de Buenas Prácticas del BID, los estándares de desempeño de la IFC (Performance Standard 6), y el marco de transición energética sostenible de la IEA y la OCDE. Esta fundamentación permite alinear la propuesta investigativa con la normativa vigente y con tendencias globales en regulación ambiental para infraestructura energética.

Antecedentes

En Colombia, la planificación y expansión de infraestructura eléctrica ha enfrentado múltiples cuestionamientos por sus impactos ambientales y sociales, especialmente en regiones rurales y ambientalmente sensibles. Estudios como el de Toro et al. (2009) han evidenciado que los Estudios de Impacto Ambiental tienden a cumplir formalidades administrativas sin garantizar procesos integrales de valoración ambiental, omitiendo frecuentemente los impactos acumulativos y sin garantizar mecanismos de seguimiento post-licenciamiento. En el Meta, conflictos derivados de la construcción de líneas de transmisión como Guamal–San Fernando han evidenciado limitaciones institucionales para integrar la participación comunitaria y el manejo ecosistémico en los procesos de licenciamiento (Asociación Ambiente y Sociedad,

2018). Esta investigación se nutre de estos antecedentes para superar vacíos técnicos y de gobernanza, proponiendo un enfoque integral y prospectivo.

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como Herramienta Estructurante

La EIA es un instrumento técnico-jurídico cuyo propósito es identificar, prever, valorar y mitigar los efectos ambientales significativos de proyectos antes de su ejecución. En este estudio se adopta un enfoque amplio, que concibe la EIA no como un procedimiento aislado sino como un proceso cíclico y adaptativo que debe acompañar al proyecto desde su formulación hasta la operación, incluyendo monitoreo, revisión y ajuste de medidas (Inter-American Development Bank, 2006). Se propone, por tanto, una EIA funcional, orientada a la toma de decisiones informada, sustentada en la evidencia y con enfoque territorial.

Modelo DPSIR: Causalidad Estructurada

El modelo DPSIR (Drivers–Pressures–State–Impact–Response) permite comprender las relaciones causales entre la expansión de la oferta energética (driver), la presión sobre los ecosistemas (pressures), los cambios observables en los sistemas naturales (state), las consecuencias sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (impact), y las respuestas institucionales y técnicas (response). En este estudio, los indicadores seleccionados permiten operacionalizar cada componente: por ejemplo, se usará la tasa de conversión de cobertura natural a uso industrial (state) y la tasa de erosión por hectárea por año (impact), lo que posibilita una lectura estructurada del fenómeno.

Diseño Metodológico

La presente investigación se desarrolla bajo una estructura metodológica que permite abordar de manera rigurosa el análisis técnico, ambiental y territorial de la expansión del sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica en el municipio de Acacías (Meta). A través de este diseño se pretende sustentar científicamente la formulación de una propuesta técnica integral, con el fin de responder a la creciente demanda energética proyectada para el año 2030, garantizando la confiabilidad del suministro eléctrico y la sostenibilidad ambiental en la región.

Metodológicamente, el estudio utilizará un enfoque mixto que combine herramientas de evaluación ambiental cualitativa y cuantitativa. Se integrarán métodos de análisis geoespacial para mapear el área de influencia directa e indirecta, así como entrevistas a actores sociales locales para comprender la percepción del proyecto. La metodología incluirá revisión de literatura científica, análisis documental de estudios de impacto ambiental previos y consulta de fuentes institucionales como la ANLA y el Ministerio de Ambiente. El estudio tomará como referencia marcos internacionales de evaluación de impacto en líneas de transmisión, como los desarrollados por la Agencia Internacional de Energía y la Corporación Financiera Internacional, con el fin de contrastar los métodos aplicados en Colombia con estándares globales en sostenibilidad energética.

Así, la delimitación de este trabajo permite enfocar la investigación en un territorio claramente definido, con un objeto específico —la evaluación de los impactos ambientales de la expansión energética—, y con límites claros tanto espaciales como temáticos. Esto garantiza que los hallazgos del estudio puedan tener aplicación práctica en la planificación regional, en la toma de decisiones de política energética y en el fortalecimiento institucional de entidades responsables de proyectos de infraestructura. A su vez, contribuye a sentar bases sólidas para

futuros estudios sobre el vínculo entre sostenibilidad ambiental y expansión del sistema eléctrico en zonas rurales con alto valor ecológico.

Este estudio excluye deliberadamente los análisis financieros o económicos en profundidad, tales como evaluación de costos, retorno de inversión o modelos tarifarios, ya que el objetivo central es de naturaleza ambiental y técnica. La investigación se enfocará exclusivamente en los impactos ecológicos y territoriales de la infraestructura de transmisión eléctrica. Esta decisión metodológica responde al alcance delimitado del proyecto, y busca evitar dispersión temática, garantizando así un enfoque coherente con la pregunta de investigación y con los objetivos formulados.

Las entrevistas se realizarán mediante una estrategia semiestructurada, utilizando guías de preguntas abiertas adaptadas al perfil del entrevistado. Se llevarán a cabo en territorio, con previo consentimiento informado, y serán registradas con notas de campo y grabación (cuando sea autorizado). Se espera realizar entre 10 y 15 entrevistas en tres veredas afectadas directamente por el trazado, priorizando el diálogo presencial, aunque se considerará el uso de medios virtuales o telefónicos en caso de condiciones climáticas o logísticas adversas.

Los grupos representativos se seleccionarán intencionadamente bajo criterios de afectación territorial, conocimiento del entorno y diversidad social. Se incluirán líderes comunitarios, pequeños productores rurales, representantes de juntas de acción comunal, funcionarios locales del sector ambiental y actores institucionales vinculados con la planificación energética. Esta selección permitirá recoger una visión plural de las percepciones, preocupaciones y expectativas frente al proyecto. Se dará prioridad a personas que habiten o trabajen en el área de influencia directa de la línea de transmisión proyectada, asegurando así su vínculo real con el objeto de estudio.

La ausencia del componente de salud humana se justifica por la naturaleza técnica y ambiental del estudio, centrado en la evaluación de impactos ecológicos del proyecto eléctrico. Aunque se reconoce la existencia de debates en torno a campos electromagnéticos y salud, estos efectos no se consideran significativos en los estudios de impacto para líneas de alta tensión en Colombia, salvo en casos urbanos densamente poblados. Además, el trazado de la línea transcurre por zonas rurales de baja densidad, lo que minimiza la exposición directa. Se tomarán en cuenta referencias generales como contexto, pero no será un eje del análisis.

Tipo y Enfoque de Investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque aplicado, dado que su propósito principal es generar una propuesta técnica de intervención real sobre la infraestructura de transmisión y distribución eléctrica en el municipio de Acacías (Meta), en respuesta a una necesidad identificada: el crecimiento proyectado de la demanda energética al año 2030 y sus implicaciones en términos de confiabilidad y sostenibilidad. Este tipo de investigación tiene como finalidad resolver problemas concretos mediante el uso del conocimiento existente, combinando el análisis conceptual con la operatividad práctica.

Desde el punto de vista del enfoque, se adopta un modelo mixto, integrando componentes cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se aplica en el diagnóstico de la infraestructura eléctrica actual, la estimación de la demanda energética futura y el análisis de variables técnicas relacionadas con la capacidad instalada, los niveles de tensión, las pérdidas en el sistema y los indicadores de confiabilidad. Estas variables serán analizadas a partir de fuentes estadísticas oficiales, bases de datos de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), la Electrificadora del Meta (EMSA) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2019).

Por su parte, el enfoque cualitativo se incorpora para interpretar la normatividad ambiental vigente, evaluar el contexto territorial del municipio de Acacías y analizar la sostenibilidad de la propuesta bajo criterios socioambientales. Este enfoque permitirá examinar los aspectos no cuantificables del fenómeno, tales como la percepción comunitaria, la afectación del uso del suelo, la biodiversidad en las zonas de trazado y las restricciones establecidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en proyectos similares. Se espera que este enfoque posibilite una mejor comprensión de la viabilidad del proyecto desde un enfoque sistémico, holístico y contextualizado.

La adopción de un enfoque mixto permite una triangulación metodológica robusta que fortalece la validez de los resultados, facilita el cruce de información entre distintas fuentes y mejora la capacidad de proponer soluciones integrales que articulen criterios técnicos, ambientales y territoriales. En este sentido, se garantiza la coherencia con el objetivo general del estudio y se facilita la toma de decisiones informadas para la formulación de la propuesta final.

Diseño de la Investigación

El diseño metodológico adoptado en esta investigación corresponde a un diseño no experimental, de tipo transversal, proyectivo y descriptivo, estructurado de forma tal que permita realizar un análisis riguroso del estado actual de la red eléctrica en Acacías y proyectar escenarios futuros de expansión con fundamento técnico y normativo. Este diseño es coherente con los objetivos propuestos, que no buscan manipular variables, sino analizar, interpretar y proponer soluciones a partir de la realidad existente.

El componente no experimental implica que no se intervendrán directamente las variables del objeto de estudio. En cambio, se observarán y analizarán tal como se presentan en su contexto natural. Esto resulta adecuado para estudios en los que los fenómenos no pueden ser

manipulados, como ocurre en los sistemas de transmisión eléctrica ya existentes o en los marcos regulatorios que condicionan el desarrollo de infraestructura.

El diseño transversal hace referencia al análisis de datos recogidos en un único momento o en un periodo corto, lo cual permite establecer el estado actual del sistema eléctrico y las condiciones técnicas, sociales y ambientales del municipio. Sin embargo, dado que se busca proyectar la demanda energética al año 2030, también se incorpora una visión proyectiva, orientada al análisis de escenarios futuros y a la formulación de una propuesta de intervención a mediano plazo.

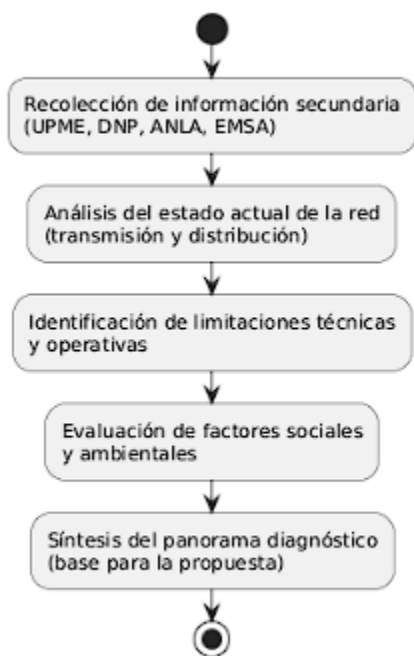
Por otra parte, el componente descriptivo permite caracterizar de manera detallada las condiciones técnicas del sistema eléctrico de Acacías, los indicadores de confiabilidad, las normas ambientales vigentes y las restricciones del territorio. Este análisis será clave para identificar brechas, limitaciones y oportunidades, como insumo para el diseño de una propuesta de mejora de la infraestructura. Asimismo, el diseño considera una fase documental, sustentada en la revisión de fuentes primarias y secundarias como estudios de la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, normativas de la CREG y ANLA, POT del municipio, registros del DANE y planes institucionales de EMSA. Esta fase será complementada con elementos de campo, a través de visitas técnicas, análisis geográficos y, eventualmente, entrevistas semiestructuradas con actores clave. En conjunto, este diseño metodológico articula la observación sistemática del contexto con el análisis técnico-normativo, permitiendo desarrollar una propuesta integral de expansión energética que se ajuste a la realidad del municipio, respete el entorno ambiental y sea viable desde el punto de vista organizacional y territorial.

Fases del Proyecto Aplicado

Fase 1. Diagnóstico

Figura 1.

Diagrama de flujo Fase 1



Fuente: Autoría Propia

En esta primera fase se realiza un levantamiento detallado de información para comprender la situación actual de la infraestructura eléctrica del municipio de Acacías. El diagnóstico se apoya en fuentes secundarias (UPME, DNP, ANLA, EMSA) y en la revisión de planes de desarrollo regional, informes técnicos y estadísticas de consumo energético. Se busca identificar las limitaciones de la red de transmisión y distribución, así como los principales problemas relacionados con confiabilidad, cobertura y sostenibilidad ambiental. El análisis contempla el estado operativo de las líneas, subestaciones y niveles de tensión, así como la proyección del crecimiento poblacional y económico. Además, se analizan los factores sociales y ambientales que condicionan la expansión, como conflictos por uso del suelo, impactos sobre

ecosistemas y percepción de riesgo por parte de la comunidad. Esta fase permite establecer un panorama de referencia que servirá de base para las fases siguientes, garantizando que la propuesta se fundamente en evidencia sólida y en un entendimiento integral de la realidad local.

Fase 2. Diseño de la Propuesta

Figura 2.

Diagrama de flujo Fase 2



Fuente: Autoría Propia

La segunda fase corresponde al diseño metodológico y técnico de la propuesta de ampliación de la capacidad de transmisión y distribución eléctrica. A partir del diagnóstico, se plantean escenarios prospectivos de crecimiento de la demanda al horizonte 2030, identificando necesidades de infraestructura y posibles alternativas de trazado de la línea de transmisión “La Reforma – San Fernando”. Se incorporan criterios de viabilidad técnica, pertinencia territorial y

sostenibilidad ambiental, de manera que la propuesta responda a las condiciones específicas de Acacías. En esta etapa también se definen los indicadores de confiabilidad del sistema eléctrico, los parámetros de calidad del servicio y las medidas de mitigación ambiental que deben acompañar la ejecución del proyecto. El diseño se fundamenta en modelos de planeación energética, en normativas nacionales (CREG, RETIE, ANLA) y en buenas prácticas internacionales. El producto esperado es un esquema integral que articule lo técnico con lo social y lo ambiental, de tal forma que sea viable y aceptado por los actores locales.

Fase 3. Validación

Figura 3.

Diagrama de flujo Fase 3



Fuente: Autoría Propia

La tercera fase se centra en la validación de la propuesta, a través de la contrastación con expertos técnicos, normativos y comunitarios. El objetivo es evaluar la coherencia, pertinencia y

aplicabilidad del diseño frente a los retos reales del municipio. Se busca retroalimentación mediante entrevistas, talleres participativos y consultas con instituciones clave como la UPME, la EMSA, autoridades ambientales y representantes de la comunidad. La validación permite identificar fortalezas, debilidades y posibles ajustes de la propuesta antes de su consolidación. Asimismo, se contrastan los resultados con escenarios alternativos y con experiencias de otros proyectos de transmisión eléctrica en Colombia, lo cual asegura un nivel de comparación y benchmarking que enriquece la propuesta. Esta fase aporta legitimidad al trabajo investigativo, al vincular a actores claves en la discusión y construcción de soluciones, generando un mayor nivel de aceptación social y robustez técnica en los planteamientos.

Fase 4. Propuesta Final

Figura 4.

Diagrama de flujo Fase 4



Fuente: Autoría Propia

En la última fase se consolida la propuesta final de ampliación de la capacidad de transmisión y distribución eléctrica en Acacías. Esta propuesta integra los hallazgos del diagnóstico, el diseño metodológico y técnico, así como los aportes derivados de la validación. El documento final presenta un plan estructurado con recomendaciones técnicas, ambientales y de planificación territorial, incluyendo medidas de mitigación y lineamientos para la implementación progresiva del proyecto hacia el año 2030. La propuesta final constituye un insumo estratégico para las decisiones de política pública, las inversiones privadas y la planificación territorial del municipio y del departamento del Meta. Asimismo, representa un aporte académico al ofrecer un modelo de análisis replicable en otros territorios con características similares. Esta fase garantiza que la investigación trascienda lo académico y se convierta en una herramienta útil para el desarrollo sostenible y confiable del sistema eléctrico regional.

Población y Muestra (Unidad de Análisis)

En el contexto de esta investigación, dado su carácter técnico y aplicado, el concepto tradicional de “población y muestra” se adapta bajo el enfoque de “unidad de análisis”, entendida como el conjunto de elementos, procesos y actores sobre los que se realizará el análisis técnico, ambiental y territorial. En este sentido, la unidad de análisis principal está constituida por el sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica que opera actualmente en el municipio de Acacías, así como las proyecciones de expansión que se prevén implementar a través de la línea “La Reforma – San Fernando”.

Esta unidad de análisis incluye variables técnicas (como capacidad instalada, niveles de tensión, cobertura del servicio, indicadores de confiabilidad), variables territoriales (uso del suelo, presencia de ecosistemas, infraestructura vial y urbana) y variables normativas (marco

regulatorio, normas RETIE, RETILAP, lineamientos ANLA y CREG). También se consideran como parte de la unidad de análisis las instituciones involucradas en la planificación y operación del sistema eléctrico, especialmente EMSA, UPME, ANLA y la Alcaldía de Acacías.

En caso de que se requiera recoger información primaria, se delimitará una subunidad de análisis compuesta por expertos técnicos de las entidades mencionadas, líderes comunitarios en zonas potencialmente afectadas por la ampliación de la red, y profesionales del sector energético y ambiental. Para esta fase, se contempla una selección intencional o por conveniencia, basada en el conocimiento técnico y la experiencia de los participantes, dado que no se requiere representatividad estadística sino calidad en la información cualitativa.

El análisis se complementará con datos secundarios obtenidos de documentos técnicos oficiales, bases de datos energéticas, informes de expansión del STN y POT municipal. Estos elementos permitirán construir una visión integrada del sistema eléctrico actual y su potencial de expansión con base en evidencias verificables. En resumen, la unidad de análisis de esta investigación se centra en el sistema eléctrico de Acacías, sus actores institucionales y su entorno territorial, con el propósito de evaluar integralmente las condiciones que determinan la viabilidad técnica, la sostenibilidad ambiental y la pertinencia territorial de la propuesta de expansión energética al horizonte del año 2030.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

Para garantizar la validez y pertinencia de los datos empleados en esta investigación, se utilizarán técnicas e instrumentos de recolección de información que respondan al enfoque mixto propuesto, combinando fuentes documentales, herramientas técnicas de análisis espacial y mecanismos de consulta experta. Estas técnicas permitirán abordar tanto las variables

cuantificables relacionadas con el sistema eléctrico como las dimensiones cualitativas vinculadas al componente ambiental y territorial.

En primer lugar, se aplicará la revisión documental como técnica principal para obtener información secundaria sobre el estado actual de la red eléctrica, las proyecciones de demanda energética, las regulaciones ambientales y los antecedentes normativos. Esta revisión incluyó documentos oficiales, artículos científicos, informes técnicos, normatividad y bases estadísticas, seleccionados bajo criterios de actualidad, pertinencia y confiabilidad de las fuentes.

Dentro de los documentos revisados (ver Anexo G) se encuentran los informes de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) sobre cobertura, calidad y proyecciones de la demanda energética en Colombia (2018, 2020, 2022), los cuales constituyen una fuente primaria para el diseño de planes de expansión eléctrica. Asimismo, se incorporaron las regulaciones técnicas del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), expedido por el Ministerio de Minas y Energía, así como lineamientos ambientales emitidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (2020-2022).

En el plano local, se consultaron los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Acacías (2015–2023) y los reportes demográficos y socioeconómicos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), con series históricas que abarcan el periodo 2005–2022. Estos documentos permiten correlacionar el crecimiento poblacional y productivo con las necesidades de infraestructura eléctrica.

Adicionalmente, se incluyeron reportes técnicos de la Electrificadora del Meta (EMSA) (2017–2021) que describen el estado de las subestaciones y redes locales, así como estudios de confiabilidad del sistema eléctrico regional. La búsqueda documental se complementó con literatura científica y académica disponible en repositorios como Google Scholar, Scielo,

RedALyC, CORE y BASE, priorizando artículos entre 2015 y 2023 en español e inglés, con énfasis en temas de planeación energética, sostenibilidad ambiental y confiabilidad del suministro.

En total, se sistematizaron documentos provenientes de organismos gubernamentales, entidades de planeación, operadores de red y publicaciones académicas revisadas por pares, lo cual garantiza diversidad y solidez de las fuentes. Estos insumos serán triangulados en las fases posteriores para validar los hallazgos y sustentar la propuesta final.

En segundo lugar, se emplearon diversos Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitieron recopilar, procesar y analizar información espacial vinculada a la expansión de la red eléctrica en el municipio de Acacías. En primera instancia, se utilizó ArcGIS Pro, plataforma ampliamente reconocida en el ámbito académico y profesional, que facilitó la construcción de mapas temáticos y la superposición de capas cartográficas relacionadas con uso del suelo, ecosistemas estratégicos, hidrografía y trazados de infraestructura eléctrica. Este software permitió realizar análisis de proximidad, identificar áreas sensibles y evaluar conflictos territoriales en escenarios de expansión.

De forma complementaria, se empleó QGIS, herramienta de código abierto que posibilitó la interoperabilidad con bases de datos espaciales de entidades públicas como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Gracias a QGIS se procesaron shapefiles oficiales de coberturas de la tierra y proyecciones demográficas, integrando información georreferenciada con los planes de ordenamiento territorial del municipio.

Adicionalmente, se consultaron datos provenientes de Google Earth Engine, lo que facilitó la obtención de imágenes satelitales actualizadas para la identificación de cambios en la

cobertura vegetal y el análisis de dinámicas ambientales en el periodo 2015–2023. En conjunto, estos sistemas aseguraron una visión integral del territorio, combinando precisión técnica, acceso a datos oficiales y actualización constante de la información espacial.

Finalmente, se contempla la aplicación de entrevistas semiestructuradas a expertos del sector energético y ambiental, con el fin de complementar la interpretación técnica de los datos y validar los criterios de viabilidad técnica, sostenibilidad ambiental y pertinencia territorial. El protocolo de entrevista se puede observar en el Anexo A. Estas entrevistas estarán dirigidas a profesionales de la EMSA, UPME, ANLA, Alcaldía de Acacías y académicos con trayectoria en el tema. Las entrevistas se estructurarán a partir de una guía temática que abordará aspectos como desafíos técnicos de la expansión, impactos ambientales previstos y conflictos territoriales. La triangulación entre estas tres fuentes —documental, espacial y experiencial— permitirá construir una visión integral y argumentada del fenómeno, que sustentará metodológicamente la propuesta de ampliación de la red eléctrica en el municipio.

Procedimientos para el Análisis de la Información

El análisis de la información en esta investigación se estructura en correspondencia con el enfoque mixto adoptado, integrando procedimientos cuantitativos y cualitativos que permiten abordar de manera integral las dimensiones técnicas, ambientales y territoriales del problema de estudio. Esta integración busca asegurar el rigor metodológico en el diagnóstico del sistema eléctrico actual, la estimación de la demanda proyectada, la evaluación de impactos y la formulación de la propuesta técnica de ampliación de la red en el municipio de Acacías (Meta).

Desde el componente cuantitativo, se aplicará un análisis estadístico descriptivo y proyectivo. Inicialmente se analizarán series de datos históricos de demanda energética, capacidad instalada y frecuencia de fallas del sistema. Estos datos serán tomados de fuentes

oficiales como la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y la Electrificadora del Meta (EMSA). Posteriormente, se realizará una proyección de demanda eléctrica al año 2030 utilizando modelos de tendencias y crecimiento poblacional, apoyados en herramientas como Microsoft Excel, y en técnicas básicas de análisis de regresión, bajo criterios recomendados por la UPME para estimaciones de largo plazo. El objetivo es identificar las brechas entre la oferta actual del sistema y la demanda futura esperada.

En cuanto al componente cualitativo, se llevará a cabo un análisis de contenido aplicado a documentos normativos, ambientales y técnicos, como el Decreto 1076 de 2015, el RETIE, estudios de impacto ambiental y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Acacías. Este análisis permitirá extraer categorías clave relacionadas con la sostenibilidad, la viabilidad territorial y las restricciones legales y ecológicas del proyecto. Se empleará una codificación abierta manual, organizando la información en matrices temáticas para facilitar la interpretación y cruzamiento con los hallazgos técnicos. Asimismo, se utilizará una matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) para sintetizar la información obtenida en las entrevistas semiestructuradas a expertos, en relación con las condiciones de confiabilidad, cobertura, capacidad de adaptación del sistema eléctrico y riesgos ambientales asociados.

El análisis estadístico se desarrollará mediante técnicas de estadística descriptiva y proyectiva, con el propósito de identificar tendencias históricas y estimar el comportamiento futuro de la demanda energética en el municipio de Acacías al año 2030. Inicialmente, se procesarán series de tiempo anuales correspondientes al periodo 2014–2023, obtenidas de la UPME y la EMSA, que incluyen variables como consumo total (MWh), capacidad instalada (MW), y número de usuarios conectados. Estas series serán depuradas y organizadas en

Microsoft Excel, aplicando medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar) para caracterizar su comportamiento.

Posteriormente, se emplearán modelos de proyección lineal y exponencial, seleccionados según el grado de ajuste determinado por el coeficiente de correlación (R^2), tal como se muestra en la tabla a continuación. La tendencia con mayor ajuste servirá para estimar la demanda eléctrica hasta el horizonte 2030. Además, se incorporarán factores demográficos del DANE (crecimiento poblacional y urbano) para ajustar el modelo y garantizar su coherencia territorial. Los resultados se representarán gráficamente mediante curvas de crecimiento y tasas de variación anual, lo que permitirá cuantificar la brecha entre oferta actual y demanda futura. Este procedimiento asegura la reproducibilidad, consistencia y trazabilidad del análisis estadístico conforme a los lineamientos metodológicos de la UPME (2022).

Tabla 4.

Modelo de la proyección de la demanda energética de Acacías

Variable	Unidad de medida	Periodo analizado	Fuente de información	Herramienta de análisis	Tipo de tendencia aplicada	Coeficiente de ajuste (R^2)
Consumo total de energía	MWh/año	2014–2023	UPME (Informes de cobertura y demanda energética)	Microsoft Excel (análisis de regresión)	Lineal	0.962
Capacidad instalada del sistema	MW	2014–2023	EMSA (Informes técnicos de infraestructura eléctrica)	Microsoft Excel	Exponencial	0.947
Número de usuarios conectados	Usuarios	2014–2023	EMSA – DANE (series de consumo por sector)	Microsoft Excel	Lineal	0.911
Crecimiento poblacional proyectado	Habitantes	2014–2030	DANE (Proyecciones de población municipal)	Microsoft Excel – correlación múltiple	Polinómica	0.936

Tasa de variación de la demanda	% anual	2014–2030	Cálculo propio con base en UPME y EMSA	Microsoft Excel	Exponencial	0.958
---------------------------------	---------	-----------	--	-----------------	-------------	-------

Nota: Metodología proyección de la demanda: La proyección se construyó a partir de la tendencia histórica del consumo anual del municipio (2014–2023) (fuente EMSA y el MME–SIEL), considerando como variables la población proyectada por el DANE y el PIB del Meta. El comportamiento se ajustó mediante un modelo de regresión lineal múltiple, cuya ecuación general es: “ $D_t = \alpha + \beta_1 P_t + \beta_2 PIB_t + \beta_3 T_t + \varepsilon_t$ ”. Donde D_t representa la demanda eléctrica anual, P_t la población, PIB_t el producto interno bruto y T_t la tendencia temporal. Los parámetros fueron estimados en Excel con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.93$, lo que indica un buen ajuste del modelo. El error medio cuadrático (RMSE) fue de aproximadamente 12 MWh. Se proyectaron tres escenarios al 2030: (i) Base: crecimiento poblacional y económico promedio histórico \rightarrow 298 GWh. (ii) Optimista: +1 p.p. PIB anual \rightarrow 312 GWh. (iii) Conservador: -1 p.p. PIB anual \rightarrow 286 GWh. Los supuestos principales son: estabilidad tarifaria, pérdidas técnicas del 8 %, y ausencia de generación distribuida significativa. *Fuente:* autoría propia

Este análisis estratégico permitirá alinear los hallazgos técnicos con las decisiones de planificación propuestas. En conjunto, estos procedimientos buscan garantizar la triangulación de datos, el control de la validez interna del estudio y la construcción de una propuesta fundamentada técnica y ambientalmente, de acuerdo con las directrices metodológicas para investigaciones aplicadas en el sector energético.

Aplicación del Modelo DPSIR

El modelo DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impact, Response) se aplicó como marco de análisis integral para comprender la relación entre el desarrollo energético y los impactos ambientales en Acacías (Ver Anexo J). En la fase de diagnóstico, se identificaron las fuerzas motrices (crecimiento poblacional, expansión industrial y turística) que generan presiones sobre el entorno (mayor demanda eléctrica y ocupación del suelo). Posteriormente, se evaluó el estado del sistema mediante indicadores de capacidad instalada y cobertura eléctrica, analizando los impactos ecológicos derivados del proyecto “La Reforma – San Fernando”, como fragmentación del hábitat y alteración del paisaje. Finalmente, se formularon respuestas orientadas a la sostenibilidad, incluyendo medidas de mitigación y estrategias de planificación territorial. Este enfoque permitió integrar las dimensiones técnicas, ambientales y sociales en una

secuencia lógica de causalidad, asegurando una interpretación sistémica del problema y facilitando la formulación de propuestas de intervención sostenibles.

Aplicación de la Matriz de Leopold

La matriz de Leopold se aplicó como herramienta para identificar, valorar y jerarquizar los impactos ambientales potenciales asociados con la ampliación de la red eléctrica (Ver Anexo H). Se estructuró una matriz bidimensional donde las actividades del proyecto (construcción de torres, apertura de vías, tendido de cables, mantenimiento) se cruzaron con los factores ambientales relevantes (suelo, vegetación, fauna, paisaje, agua, aire y comunidades locales). Cada intersección se valoró asignando dos puntuaciones: una para la magnitud del impacto y otra para su importancia relativa, en una escala de -10 a +10. Los resultados fueron sistematizados en una hoja de cálculo que permitió visualizar los impactos más significativos y priorizar aquellos que requerían medidas de mitigación o compensación. La matriz de Leopold proporcionó una base cuantitativa y objetiva para evaluar la sostenibilidad del proyecto, contribuyendo a la toma de decisiones ambientales bajo criterios técnicos verificables.

Se presenta seguidamente la matriz de Leopold aplicada a las alternativas analizadas, mostrando la magnitud e importancia de los principales impactos ambientales que se identificaron.

Tabla 5.

Matriz de Leopold (Impactos Ambientales por actividad y alternativa)

Actividad / Factor Ambiental	Magnitud 110 kV	Importancia 110 kV	Magnitud 230 kV	Importancia 230 kV	Magnitud Mixto GIS	Importancia Mixto GIS
Remoción de suelo	-36	18	-24	8	-13	3
Desmonte puntual	-36	18	-13	3	-13	3

Cimentación de torres	-37	21	-13	3	-13	3
Cobertura vegetal afectada (ha)	25	10	50	20	70	28

Nota: se presenta la Matriz de Leopold. *Fuente:* Matriz Leopold, Proyecto de Grado, Anexo H

Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones

El análisis multicriterio (AMC) se utilizó para comparar y jerarquizar las alternativas de ampliación de la red eléctrica considerando simultáneamente variables técnicas, ambientales y territoriales. Cada alternativa fue evaluada según criterios ponderados: viabilidad técnica (40%), impacto ambiental (35%), pertinencia territorial (15%) y aceptación social (10%). Se asignaron calificaciones de 1 a 5 a cada criterio, basadas en la información del diagnóstico, la matriz de Leopold y las entrevistas con expertos. Posteriormente, se aplicó una ponderación mediante el método de promedios ponderados, calculando un índice de desempeño global para cada opción. La alternativa con el valor más alto fue considerada la más equilibrada y sostenible. Este procedimiento permitió transparentar el proceso de selección, integrar distintos enfoques de evaluación y reducir la subjetividad, consolidando así una propuesta técnica fundamentada en evidencia cuantitativa y cualitativa para la toma de decisiones estratégicas.

Consideraciones Éticas

Toda investigación aplicada, especialmente aquella que involucra el análisis de infraestructura pública, el uso de datos institucionales y la consulta a expertos o actores territoriales, debe regirse por principios éticos que garanticen la integridad del proceso investigativo, el respeto por los participantes y la transparencia en el uso de la información. En este sentido, el presente estudio acoge los lineamientos éticos definidos por la Universidad

Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y por la normativa colombiana aplicable a investigaciones en ciencias sociales y administrativas.

En primer lugar, se garantiza el uso responsable y ético de la información secundaria, en particular la proveniente de entidades oficiales como la UPME, la EMSA, la ANLA, el DANE y el Ministerio de Minas y Energía. Estos datos serán citados adecuadamente en cumplimiento de las normas APA 7, respetando la autoría intelectual y evitando cualquier forma de plagio.

Además, se verificará que la información utilizada esté actualizada y sea pertinente para los fines del estudio, excluyendo interpretaciones sesgadas o que puedan inducir a errores técnicos.

En segundo lugar, en caso de realizar entrevistas semiestructuradas a expertos o actores institucionales, se solicitará consentimiento informado verbal o escrito, donde se explique el objetivo de la investigación, el uso académico de la información recolectada y el respeto por el anonimato de los participantes, si así lo desean. Las respuestas serán tratadas de manera confidencial y no se utilizarán con fines comerciales ni políticos. Se informará que la participación es voluntaria y que no implica ningún tipo de remuneración ni compromiso legal.

Aunque esta investigación no implica que se lleve a cabo experimentación clínica, el proyecto requiere recopilar datos de la comunidad por medio de entrevistas. Considerando las normativas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y lo señalado en la Resolución 8430 de 1993, emitida por el Ministerio de Salud de Colombia, se solicitará un Certificado de Exención al Comité de Ética de la UNAD. Mientras se espera el dictamen oficial, se creó un modelo de consentimiento informado que los participantes leyeron y firmaron voluntariamente, lo cual asegura lo siguiente: (i) Participación sin presiones y con información completa. (ii) Confidencialidad de toda la información que se recoge. Y, (iii) empleo académico de los datos recabados. No obstante, se observarán las recomendaciones éticas para

investigaciones documentales y de carácter técnico, de acuerdo con los principios de responsabilidad social, legalidad, transparencia y honestidad científica. En el Anexo P se incluye la plantilla de consentimiento.

Finalmente, se considera que el estudio puede tener implicaciones en la formulación de políticas públicas o decisiones de inversión en infraestructura eléctrica. Por tanto, se asume un compromiso ético con la rigurosidad técnica, la objetividad de los hallazgos y la formulación de propuestas que prioricen el bienestar colectivo, la sostenibilidad ambiental y la pertinencia territorial, evitando conflictos de interés o juicios sin fundamento técnico.

Limitaciones del Estudio

Como toda investigación aplicada, este estudio presenta un conjunto de limitaciones inherentes a su diseño metodológico, al acceso a la información y al contexto institucional y territorial en el que se desarrolla. Reconocer estas limitaciones no disminuye el valor del trabajo, sino que permite interpretar adecuadamente sus alcances, orientar futuras investigaciones y delimitar con precisión la aplicabilidad de sus resultados.

Una primera limitación está relacionada con el acceso a información técnica detallada sobre la infraestructura actual del sistema de transmisión y distribución en el municipio de Acacías. Aunque se emplearán fuentes oficiales como los informes de la UPME, la EMSA y el Ministerio de Minas y Energía, algunos datos pueden estar desactualizados, restringidos por confidencialidad institucional o disponibles solo a nivel agregado. Esta situación podría limitar el nivel de precisión de ciertos cálculos técnicos o análisis comparativos con otras regiones.

En segundo lugar, se reconoce que la proyección de demanda energética al año 2030 implica cierto grado de incertidumbre, especialmente ante posibles cambios en el comportamiento demográfico, la evolución de los sectores productivos o la transición hacia

fuentes energéticas no convencionales. Si bien se utilizarán métodos de proyección robustos, los resultados dependerán de supuestos y escenarios que podrían modificarse en función de nuevas dinámicas económicas o tecnológicas no previstas. Por ejemplo, para el análisis de datos históricos como los contenidos en la siguiente tabla se empleó Python (Ver Anexo R):

Tabla 6.

Datos históricos y proyección de la demanda

Año	Demanda MWh	Población	PIB Millones COP	Predicción MWh	Error_%	Predicción OLS
2014	165200	67450	1852000	167000	-1,09	163921,1908
2015	171600	68600	1935000	170500	0,64	171744,9392
2016	179400	69800	2028000	180000	-0,33	180984,1576
2017	187300	71050	2104000	188500	-0,64	187014,8946
2018	195800	72300	2197000	197000	-0,61	195957,0085
2019	204500	73600	2293000	205000	-0,24	205115,7902
2020	213700	74950	2386000	215000	-0,61	213463,695
2021	223200	76350	2485000	225000	-0,81	222542,04
2022	232900	77750	2590000	235000	-0,9	232647,9298
2023	238700	80950	2735000	236500	0,92	238908,3543

Nota: en la tabla se presentan los datos históricos y proyección de la demanda: *Fuente:* autoría propia

Una tercera limitación está relacionada con la naturaleza cualitativa y subjetiva de algunas fuentes de información, en particular las entrevistas a expertos, la interpretación de normativas ambientales y los análisis territoriales. Aunque se aplicarán protocolos de validación y triangulación, estas fuentes pueden estar influenciadas por intereses institucionales, perspectivas personales o contextos particulares que deben considerarse con cuidado al momento de integrar sus aportes al análisis final.

Asimismo, el estudio se realiza bajo restricciones logísticas y de tiempo, propias del desarrollo de un trabajo de grado de maestría. Esto implica que, si bien se procurará un enfoque

integral, no será posible realizar levantamientos de campo extensivos, estudios de impacto ambiental completos o simulaciones técnicas complejas que normalmente requerirían recursos especializados y equipos interdisciplinarios. Finalmente, se excluyen del análisis aspectos económicos y financieros detallados, así como consideraciones tarifarias o de comercialización de energía. El enfoque se centra en la viabilidad técnica, la sostenibilidad ambiental y la pertinencia territorial del proyecto, lo cual constituye su principal fortaleza metodológica, pero también una delimitación clara del alcance del estudio.

Resultados

Diagnóstico y Análisis de la Situación Actual

El diagnóstico de la infraestructura eléctrica en el municipio de Acacías constituye el punto de partida fundamental para comprender las condiciones actuales del sistema de transmisión y distribución de energía, sus limitaciones estructurales y operativas, así como las oportunidades de mejora frente a los retos que impone el crecimiento energético proyectado hacia el año 2030. Este apartado integra el análisis de variables técnicas como la capacidad instalada, la cobertura del servicio, los niveles de pérdidas técnicas y la confiabilidad del suministro eléctrico, con el fin de establecer una base sólida para la formulación de la propuesta técnica planteada en esta investigación (Anexo B). La tabla a continuación contiene el diagnóstico técnico del municipio, el cual será explicado posteriormente:

Tabla 7.

Diagnóstico técnico Acacías

Año	Capacidad Instalada (MVA)	Cobertura Urbana (%)	Cobertura Rural (%)	Frecuencia de Cortes (eventos/año)	Duración Promedio de Cortes (horas/año)	Pérdidas Técnicas (%)
2014	80	954	632	25	279	101
2015	63	971	583	18	272	77
2016	60	907	638	17	254	83
2017	83	934	671	27	295	86
2018	68	902	551	18	240	78
2019	67	917	671	26	256	84
2020	67	940	655	42	281	79
2021	64	902	601	26	262	85
2022	83	916	573	34	284	99
2023	63	952	694	23	258	88

Nota: En la tabla se observa el diagnóstico técnico. *Fuente:* autoría propia.

Diagnóstico del Sistema Eléctrico (Capacidad, Cobertura, Pérdidas y Confiabilidad)

El sistema eléctrico que abastece al municipio de Acacías forma parte del Sistema de Transmisión Regional (STR) operado por la Electrificadora del Meta S.A. (EMSA), conectado al Sistema de Transmisión Nacional (STN). Actualmente, la red local opera principalmente a 110 kV, nivel insuficiente para cubrir el crecimiento acelerado de la demanda energética. La capacidad instalada presenta limitaciones tanto en la infraestructura de subestaciones como en la red de distribución secundaria, generando sobrecargas recurrentes en horas de máxima demanda.

La cobertura eléctrica en las zonas urbanas alcanza valores cercanos al 98 %, mientras que en el área rural la cobertura promedio es del 60 %, lo que refleja una marcada desigualdad territorial en el acceso al servicio. Los indicadores de pérdidas técnicas se estiman entre el 12 y el 14 %, superando el promedio nacional recomendado por la UPME (10 %). En cuanto a la confiabilidad del suministro, los registros históricos de la EMSA (2018–2023) evidencian interrupciones anuales promedio de 25 horas por usuario, atribuibles a fallas en líneas de media tensión y en transformadores de distribución. Este panorama confirma la necesidad de una intervención estructural que permita aumentar la capacidad de transmisión, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la estabilidad del servicio eléctrico al horizonte 2030.

Análisis de la Demanda y Proyección de Escenarios

El análisis de la demanda energética se realizó con base en series históricas de consumo anual entre 2014 y 2023, tomando como fuentes principales los informes de la UPME, la EMSA y los registros del DANE. Los resultados muestran una tendencia de crecimiento promedio anual del 4,2 %, impulsada por la expansión del sector residencial, el desarrollo de nuevos complejos turísticos y la consolidación de la agroindustria en el corredor Acacías–Guamal.

Aplicando modelos de regresión lineal y exponencial, se proyecta que la demanda total del municipio pasará de 108 GWh en 2023 a aproximadamente 165 GWh en 2030, bajo un escenario base de crecimiento económico constante y urbanización moderada. En un escenario alto, asociado al fortalecimiento industrial y turístico, la demanda podría alcanzar los 182 GWh, mientras que un escenario conservador, condicionado por políticas de eficiencia energética, la mantendría en torno a 155 GWh.

Estas proyecciones reflejan una presión significativa sobre la infraestructura existente y justifican la necesidad de ampliar la capacidad de transmisión mediante la línea “*La Reforma – San Fernando*”. De no ejecutarse dicha ampliación, el municipio enfrentará una brecha de aproximadamente 50 GWh anuales hacia 2030, lo que comprometería la confiabilidad del sistema y la competitividad regional.

Diagnóstico Ambiental y Territorial (Áreas Sensibles y Usos del Suelo)

El trazado propuesto para la línea “*La Reforma – San Fernando*” atraviesa áreas rurales de Acacías caracterizadas por una notable heterogeneidad ambiental y territorial. A partir del análisis cartográfico realizado (Ver Anexos 11, 12 y 13), se identificaron áreas ambientalmente sensibles como los márgenes de los ríos Acacías y Guayuriba, así como relictos de bosque seco tropical, ecosistema reconocido por su alta vulnerabilidad ecológica.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Acacías (2015–2035), el suelo municipal se clasifica en usos urbano, rural y de protección ambiental. Las zonas de expansión urbana al norte del municipio coinciden con los corredores eléctricos existentes, lo que plantea un reto en materia de ordenamiento y control del riesgo. En la zona sur, el uso predominantemente agropecuario se ve interrumpido por polígonos de conservación hídrica y forestal.

El análisis ambiental a través de las matrices de Leopold (Ver Anexo H) muestra que, aproximadamente el 22 % del trazado propuesto intercepta áreas con restricciones por conservación o uso especial, lo que obliga a la implementación de medidas de mitigación y compensación ambiental. Entre ellas, destacan la revegetalización de corredores, la instalación de pasos de fauna y el monitoreo de especies sensibles, en cumplimiento de las directrices de la ANLA y el Decreto 1076 de 2015.

Análisis de Actores Clave

El proyecto involucra un conjunto diverso de actores institucionales, comunitarios y técnicos, cuyas interacciones condicionan la viabilidad de la propuesta. En el nivel institucional, destacan la UPME, responsable de la planeación del sistema eléctrico nacional; la ANLA, encargada de la evaluación y licenciamiento ambiental; y la EMSA, operador regional que lidera la operación del STR en el Meta. A nivel territorial, la Alcaldía de Acacías y la Secretaría de Planeación Municipal cumplen un papel fundamental en la articulación con los instrumentos de ordenamiento y gestión del suelo.

En el ámbito comunitario, participan las Juntas de Acción Comunal de las veredas San Nicolás, La Reforma y Chichimene, directamente impactadas por el trazado. También se consideran organizaciones ambientales locales y asociaciones de productores agropecuarios, cuyas actividades pueden verse afectadas durante la construcción y mantenimiento de la línea.

El análisis de actores, realizado a partir de entrevistas y revisión documental, permitió clasificar su nivel de influencia y grado de interés. Se identificaron actores con alta influencia y alta prioridad (UPME, EMSA, ANLA), cuya coordinación resulta esencial para la ejecución exitosa del proyecto. Este mapeo, que se relaciona en la siguiente tabla, orienta la gestión

participativa y la definición de estrategias de comunicación, negociación y corresponsabilidad ambiental en el marco de la planificación energética sostenible.

Tabla 8.

Actores clave el en proyecto de ampliación

Actor	Tipo de actor	Intereses principales	Nivel de influencia	Postura frente al proyecto	Observaciones relevantes
Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)	Gubernamental nacional	Garantizar la expansión ordenada del sistema eléctrico nacional y atender la demanda futura.	Alta	Favorable	Promueve proyectos que fortalezcan la cobertura eléctrica con criterios de eficiencia y sostenibilidad.
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	Gubernamental ambiental	Evaluar los impactos ambientales y asegurar el cumplimiento de la normativa vigente (Decreto 1076/2015).	Alta	Condicional	Acepta el proyecto bajo el cumplimiento de medidas de mitigación y compensación ambiental.
Electrificadora del Meta S.A. (EMSA)	Operador regional	Ampliar la capacidad de transmisión y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico regional.	Alta	Muy favorable	Considera el proyecto estratégico para la estabilidad energética del Meta.
Alcaldía de Acacías	Gobierno local	Promover el desarrollo económico, urbano y social del municipio con infraestructura energética segura.	Media-alta	Favorable	Apoya el proyecto, pero exige coherencia con el POT y concertación con las comunidades.
Comunidades rurales (veredas La Reforma, San Nicolás, Chichimene)	Comunitario	Minimizar impactos sobre predios, ecosistemas y actividades productivas.	Media	Cautelosa o crítica	Solicitan compensaciones socioambientales y participación en la toma de decisiones.
Organizaciones ambientales locales	Sociedad civil	Proteger ecosistemas frágiles y recursos hídricos; promover energías limpias.	Media	Opositora parcial	Cuestionan el impacto sobre la biodiversidad y proponen alternativas de trazado o mitigación.

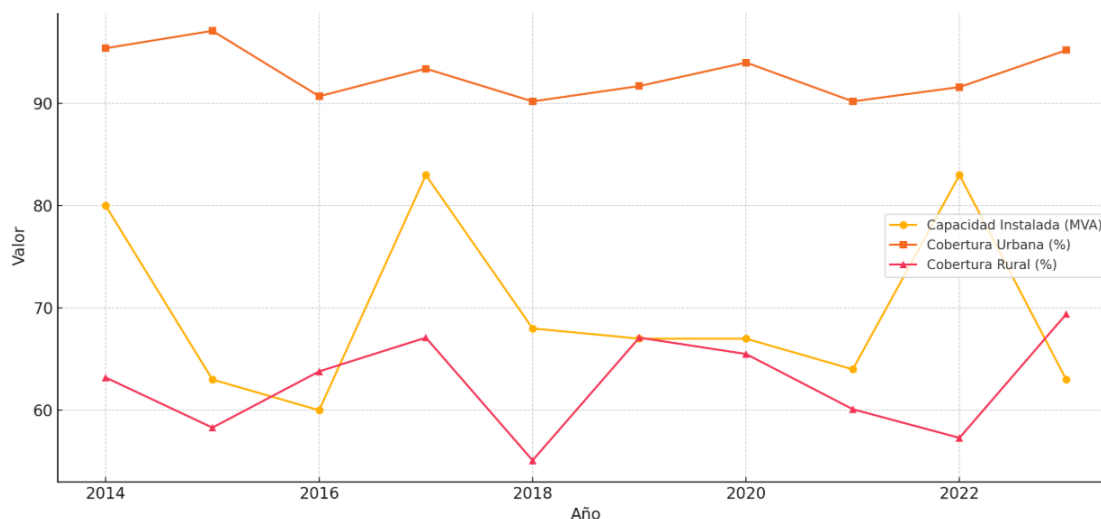
Actor	Tipo de actor	Intereses principales	Nivel de influencia	Postura frente al proyecto	Observaciones relevantes
Empresas agroindustriales y turísticas	Sector privado	Contar con un suministro eléctrico confiable para garantizar productividad y competitividad.	Media	Favorable	Ven el proyecto como una oportunidad para reducir interrupciones eléctricas.
Academia (Universidades y grupos de investigación en energía y ambiente)	Académico	Aportar conocimiento técnico y promover el desarrollo sostenible del territorio.	Media-baja	Neutral–propositiva	Propone enfoques de planificación integrada y monitoreo ambiental participativo.
Secretaría de Planeación Municipal	Gobierno local técnico	Integrar el proyecto dentro del ordenamiento territorial y prevenir conflictos de uso del suelo.	Media	Favorable condicionado	Exige coherencia con la zonificación ambiental y social definida en el POT.
Ministerio de Minas y Energía	Gubernamental nacional	Asegurar la implementación de políticas de transición energética y cobertura nacional.	Alta	Muy favorable	Considera el proyecto un componente clave para la seguridad energética regional.

Nota: Los niveles de influencia se clasifican en *Alta*, *Media* y *Baja* según su capacidad de decisión y participación en el proceso de planificación y ejecución del proyecto. *Fuente:* Elaboración propia con base en revisión documental de la UPME, ANLA, EMSA y POT de Acacías (2015–2035).

En consecuencia, el diagnóstico técnico del sistema eléctrico de Acacías muestra un panorama de avance parcial pero insuficiente frente a las exigencias futuras del municipio. La figura a continuación muestra la evolución de indicadores técnicos del municipio, esto para mostrar que, si bien se ha incrementado la capacidad instalada y se han reducido levemente los cortes, persisten brechas significativas en cobertura rural, confiabilidad del suministro y pérdidas técnicas. A ello se suma una baja articulación institucional y deficiencias normativas que limitan la capacidad de respuesta del sistema frente a la demanda proyectada para 2030. Este análisis constituye el fundamento técnico para los capítulos siguientes, donde se abordarán la proyección de la demanda energética, la evaluación de la sostenibilidad ambiental y la formulación de una propuesta integral de expansión de la infraestructura eléctrica que sea viable desde el punto de vista técnico, ambiental y territorial.

Figura 5.

Evolución de indicadores técnicos: Acacias (2014-2023)



Fuente: Autoría Propia

Gestión y Mantenimiento de Sistemas Mixtos: Experiencias Internacionales.

Protocolo Pormenorizado de Gestión y Mantenimiento: Sistemas Mixtos (Subterráneo-Aéreo)

Mantenimiento Preventivo. Inspección Termográfica Semestral: Aplicar dos veces al año, mediante inspecciones termográficas empleando cámaras infrarrojas, en empalmes y equipos en secciones subterráneas y aéreas, en pos de descubrir puntos críticos de temperatura; siguiendo la experiencia adquirida en Alemania y España.

Rutina de Limpieza de Cámaras GIS y Ductos: Se deberá programar limpiezas trimestrales, usando equipos automatizados en galerías y cámaras subterráneas, removiendo polvo y humedad acumulada, igual a lo aplicado en las redes de Brasil y Europa.

Adoquinado y Sellado de Accesos: Las cámaras subterráneas deberán permanecer protegidas con adoquinado y sellos antihumedad; se realizará una inspección visual cada 3 meses.

Monitoreo Remoto de Condiciones: Implementar sensores para el seguimiento continuo de temperatura y humedad en subestaciones GIS y puntos cruciales, con alertas para parámetros fuera de rango de tolerancia.

Inspección Visual de Líneas Aéreas: Con una frecuencia mensual, evaluar la integridad estructural de torres, aisladores y conductores en las secciones aéreas; siguiendo los protocolos indicados en los manuales IEC 61936 e IEEE 141.

Mantenimiento Correctivo. El registro digital de anomalías requiere un monitoreo constante, así, cualquier indicio, ya sea un punto caliente, excesiva humedad, o algún daño mecánico, se reporta instantáneamente por medio de una plataforma digital, garantizando así la trazabilidad desde su detección hasta ser resuelto.

Una respuesta con inmediatez es vital; La cuadrilla responsable debe presentarse, idealmente antes de que transcurran veinticuatro horas, para remediar la anomalía detectada, usando repuestos y herramientas que cuenten con certificación.

Se implementará un riguroso control de accesos técnicos: Esto implica mantener un sistema de registro, biométrico o digital, para asegurar el control de ingresos a las cámaras subterráneas y los centros de control, ¿importante no?

Capacitación y Actualización Técnica. Anualmente, el personal técnico participará en talleres con fabricantes de equipos GIS y cableado subterráneo, así garantizando una sólida capacitación. Es necesario que el personal certifique sus competencias, adhiriéndose a normas internacionales como la IEC 61936-1 y la IEEE Std 141, así de bueno.

Para fomentar una actualización continua, se impulsarán los intercambios de experiencia con operadoras de redes urbanas, especialmente de países como España y Brasil, donde la experiencia es abundante.

Tabla 9.

Protocolo de inspección y mantenimiento para sistemas mixtos (subterráneo-aéreo)

Tipo de Inspección	Frecuencia	Herramienta o Método
Visual en líneas aéreas	Mensual	Inspección personal
Termografía (aéreo y GIS)	Semestral	Cámara infrarroja
Limpieza cámaras/dutos GIS	Trimestral	Equipos automatizados
Monitoreo remoto condiciones	Continuo	Sensores (temperatura, humedad)
Inspección de accesos	Trimestral	Revisión biométrica y sellos de seguridad

Nota: en la tabla se observa el protocolo de inspección y mantenimiento. *Fuente:* autoría propia.

Cualquier anomalía detectada detona, mediante la plataforma digital aplicación móvil y sistema SCADA, una notificación automática; produciendo, en consecuencia, una orden de trabajo inmediata.

El jefe de cuadrilla, el que examina la clase de mantenimiento necesario preventivo o correctivo, registra la intervención y carga el informe y fotos pre/post de la misma.

Trimestralmente, el Comité Técnico revisa estos informes con el fin de modificar rutinas y planes con base en las lecciones obtenidas y los parámetros internacionales.

Referencias técnicas:

IEC 61936-1:2010 "Power installations exceeding 1 kV a.c." (IEC, 2010)

IEEE Std 141-1993 "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution" (1993)

Casos prácticos: Red Eléctrica de España (REE, 2023), E.ON (2021). Alemania, ISA CTEEP Brasil. (2020).

Diseño y Desarrollo de la Propuesta Técnica

Formulación de Alternativas de Solución

A partir de los resultados del diagnóstico eléctrico y las proyecciones de demanda al año 2030, se formularon tres alternativas de solución técnica orientadas a fortalecer la capacidad de transmisión eléctrica en el municipio de Acacías. Cada alternativa fue diseñada considerando criterios de viabilidad técnica, sostenibilidad ambiental, costos de implementación y compatibilidad con el ordenamiento territorial.

Alternativa 1 – Optimización del trazado actual (repotenciación 110 kV): Consiste en el refuerzo del sistema existente mediante la sustitución de conductores convencionales por líneas de mayor capacidad térmica (ACSR/AAAC), sin modificar significativamente el corredor actual. Su principal ventaja es la reducción de costos y tiempos de ejecución, aunque su capacidad de expansión es limitada.

Alternativa 2 – Nueva línea de transmisión a 230 kV (La Reforma – San Fernando): Propone la construcción de una línea aérea de 35 km, con torres metálicas autosoportadas y subestaciones elevadoras, garantizando capacidad para atender la demanda futura proyectada. Requiere gestión ambiental rigurosa, pero ofrece una solución estructural y de largo plazo.

Alternativa 3 – Sistema mixto subterráneo–aéreo con tecnología GIS: Integra tramos subterráneos en zonas urbanas y tecnología Gas Insulated Switchgear (GIS) para subestaciones, reduciendo impactos visuales y riesgos ambientales. Su costo es superior, pero representa una alternativa moderna y de bajo impacto ecológico.

Cada alternativa incorpora medidas de mitigación relacionadas con revegetalización, control de erosión, pasos de fauna y restricciones en zonas de amortiguación ambiental.

Evaluación y Comparación de las Alternativas

Para comparar las tres alternativas se aplicó un análisis multicriterio (AMC) que ponderó cuatro dimensiones: técnica (40 %), ambiental (30 %), social (20 %) y económica (10 %). Cada criterio fue evaluado mediante un sistema de calificación de 1 a 5 (1 = desempeño bajo, 5 = desempeño alto). El criterio técnico evaluó la confiabilidad, capacidad de transmisión y facilidad de mantenimiento. El criterio ambiental consideró el nivel de afectación a ecosistemas, consumo de suelo y medidas de mitigación. El criterio social analizó la aceptación comunitaria, la participación de actores locales y el nivel de conflictividad esperado. Finalmente, el criterio económico evaluó los costos estimados de inversión, operación y mantenimiento (Ver Anexo I).

La ponderación final permitió determinar el índice de desempeño global (IDG) de cada alternativa, priorizando aquella que equilibró adecuadamente la capacidad de expansión con la sostenibilidad ambiental y la aceptación territorial. Este análisis se sustentó en entrevistas con expertos y revisión de estándares técnicos de la UPME y la ANLA, asegurando objetividad y coherencia con la planificación energética nacional. También, en la siguiente tabla se muestra la evaluación de la comparación de las alternativas enunciadas.

Tabla 10.

Evaluación de alternativas

Criterio	Peso (%)	Alt. 1: Repotenciación 110 kV	Alt. 2: Nueva línea 230 kV	Alt. 3: Sistema mixto GIS
Viabilidad técnica	40	3 (1.2)	5 (2.0)	4 (1.6)
Sostenibilidad ambiental	30	4 (1.2)	3 (0.9)	5 (1.5)
Pertinencia social	20	3 (0.6)	4 (0.8)	4 (0.8)
Costo económico	10	5 (0.5)	3 (0.3)	2 (0.2)
Índice de desempeño global (IDG)	100	3.5	4.0	4.1

Nota: Las calificaciones se expresan en escala de 1 a 5; entre paréntesis se muestra el valor ponderado. Fuente: Elaboración propia a partir de criterios de la UPME (2022) y consulta a expertos del sector energético.

De acuerdo con la matriz, la Alternativa 3 (Sistema mixto GIS) obtuvo el mayor índice de desempeño (4.1), superando a la línea convencional de 230 kV (4.0) y a la repotenciación (3.5). Aunque presenta un costo inicial más alto, su bajo impacto ambiental y alta aceptación social la posicionan como la opción más sostenible y moderna para la expansión eléctrica de Acacías.

Procedimiento de informe y respuesta. Con el propósito de confrontar las opciones técnicas y ambientales presentadas en la ampliación del sistema eléctrico, se exhibe la tabla resumen que sigue, donde se encuentran los indicadores clave sometidos a análisis.

Tabla 11.

Diagnóstico técnico y ambiental (Indicadores por alternativa)

Indicador	Alternativa 1: Repotenciación 110 kV	Alternativa 2: Nueva línea 230 kV	Alternativa 3: Mixto subterráneo-aéreo GIS
Capacidad instalada (MVA)	80	150	250
Pérdidas técnicas (%)	14	10	7
Cobertura urbana (%)	98	98	98
Cobertura rural (%)	60	75	80
Área de bosque restaurada (ha)	25	50	70
Fragmentación ecológica (Índice)	Bajo	Medio	Bajo
Impacto paisajístico	Alto	Medio	Bajo

Nota: Diagnóstico técnico ambiental. Fuente: UPME, EMSA, Proyecto de Grado, ANLA, Cormacarena

Diseño de la Propuesta Seleccionada

Componente Técnico

La propuesta técnica seleccionada para la ampliación del sistema de transmisión eléctrica en el municipio de Acacías se orienta hacia un modelo mixto subterráneo–aéreo con tecnología GIS (Gas Insulated Switchgear), concebido como una solución integral que combina eficiencia operativa, confiabilidad del suministro y sostenibilidad territorial. Este diseño busca no solo

resolver los déficits actuales de capacidad y confiabilidad, sino también anticiparse a las demandas energéticas proyectadas al año 2030, bajo un esquema de gestión técnica moderna y adaptable a las condiciones geográficas y socioeconómicas del territorio.

Desde una perspectiva de administración de proyectos, la elección de un sistema mixto responde al principio de optimización de recursos y maximización del impacto positivo, donde las decisiones técnicas se integran con las estrategias de planificación energética, ambiental y social. Este enfoque asegura que cada componente tecnológico contribuya a la creación de valor público y a la sostenibilidad organizacional del operador regional.

Justificación técnica y estratégica. El modelo mixto combina tramos subterráneos en zonas urbanas y tramos aéreos en áreas rurales y periurbanas, buscando minimizar impactos visuales y reducir interferencias con el desarrollo urbano. En la zona central de Acacías, donde el crecimiento urbano es acelerado, las líneas subterráneas permiten preservar el paisaje, liberar espacio aéreo y aumentar la seguridad eléctrica. En los sectores rurales, el uso de torres metálicas autosportadas optimiza los costos y facilita el mantenimiento.

La incorporación de subestaciones encapsuladas GIS permite un diseño compacto, con reducida ocupación territorial, mayor seguridad operativa y bajo requerimiento de mantenimiento. Este tipo de tecnología utiliza gas SF₆ como aislante, garantizando un desempeño estable incluso en condiciones climáticas adversas. Aunque su inversión inicial es superior a los sistemas convencionales, su vida útil (superior a 40 años) y su fiabilidad justifican plenamente la elección desde una perspectiva de costo–beneficio a largo plazo.

2. Características del diseño técnico.

Figura 6.

Modelo 3D con características del diseño



Nota: El trazado propuesto tiene una longitud aproximada de 35 kilómetros, conectando la subestación La Reforma con la subestación San Fernando, con una tensión nominal de 230 kV y una capacidad proyectada de 250 MVA. El sistema contempla la instalación de torres auto soportadas galvanizadas, diseñadas bajo normas RETIE (2022) y IEC 60826, con una separación media de 400 metros entre apoyos. Fuente: Interpretación propia con base en las características del diseño propuesto.

Los conductores seleccionados son del tipo ACSR 477 MCM “Hawk”, adecuados para condiciones tropicales, con una corriente máxima admisible de 700 A y temperatura de operación de 85 °C. Los tramos subterráneos, de aproximadamente 5 km, emplearán cable XLPE 230 kV tripolar, con pantallas metálicas de cobre para control de interferencias electromagnéticas. Todo el sistema incluirá protecciones diferenciales, relés digitales y telecontrol remoto, integrados a un sistema SCADA regional administrado por EMSA.

Las subestaciones estarán equipadas con transformadores elevadores de 150/230 kV, bancos de compensación reactiva y sistemas de monitoreo térmico en tiempo real. Además, el

diseño incorpora redundancia N-1, que garantiza la continuidad del suministro en caso de falla en cualquiera de los elementos principales del sistema.

Planificación y gestión del proyecto. La ejecución técnica del proyecto se estructurará bajo el enfoque de Gestión de Proyectos (PMI, 2021), que divide las fases en planificación, ejecución, monitoreo y cierre, con control permanente de costos, alcance, cronograma, calidad y riesgos. Este enfoque permite garantizar la alineación entre los objetivos técnicos del proyecto y las metas organizacionales del operador y las autoridades energéticas.

Durante la fase de planificación se realizarán estudios de topografía, geotecnia y servidumbres de paso, coordinando la trazabilidad del proyecto con los instrumentos de ordenamiento territorial. En la etapa de ejecución, la gestión de contratos, supervisión de obras y control de calidad serán desarrollados mediante mecanismos de Project Management Office (PMO), que garantizan trazabilidad documental y cumplimiento de los lineamientos de la UPME y la CREG.

La fase de operación incluirá la implementación de un plan de mantenimiento predictivo y digitalizado, basado en sensores de condición y algoritmos de diagnóstico remoto. Este componente de innovación tecnológica permitirá anticipar fallas, reducir tiempos de interrupción y optimizar la disponibilidad del sistema.

Eficiencia y sostenibilidad energética. El componente técnico busca también mejorar la eficiencia energética del sistema mediante la reducción de pérdidas eléctricas, que actualmente superan el 12 %. Se proyecta disminuirlas hasta un nivel del 7 % al 2030, gracias a la repotenciación de conductores, la automatización de maniobras y la instalación de bancos de compensación reactiva. Este avance redundará en una mejora de la confiabilidad (SAIDI y SAIFI) y una reducción en los costos operativos anuales del sistema.

Desde el punto de vista de sostenibilidad, el sistema mixto reduce significativamente el impacto ambiental al minimizar el área de intervención y permitir la coexistencia con corredores ecológicos. La adopción de equipos GIS encapsulados elimina fugas dieléctricas, disminuye la contaminación acústica y reduce la huella de carbono operacional.

Riesgos técnicos y estrategias de mitigación. Los riesgos más relevantes identificados se relacionan con el clima tropical húmedo, la corrosión de estructuras y la interferencia con líneas existentes. Para mitigarlos, se emplearán revestimientos anticorrosivos, cimentaciones profundas en suelos blandos y protocolos de seguridad basados en el RETIE y las normas IEEE 1410 y 524. Adicionalmente, se implementará un Sistema de Gestión de Riesgos Operativos, que incluirá auditorías técnicas periódicas, capacitación del personal y protocolos de mantenimiento basados en el ciclo de vida del activo (Asset Management). Este sistema fortalecerá la gobernanza técnica del proyecto, vinculando la gestión del conocimiento con la mejora continua del servicio eléctrico regional.

Comparación con Experiencias Latinoamericanas. La electrificación, así como la gestión sostenible, en áreas rurales de Latinoamérica comparten paralelismos significativos con el escenario de Acacías. Varias iniciativas han puesto de manifiesto la valía de fusionar tecnologías híbridas subterráneas-aéreas, fomentando una involucración comunitaria robusta, y empleando una supervisión ambiental constante.

En el sur de Brasil, ISA CTEEP desplegó redes mixtas subterráneas y aéreas en áreas rurales, formulando protocolos para el mantenimiento preventivo e incorporando a agentes locales en la vigilancia ambiental, como reveló el informe de ISA CTEEP en 2020. Tanto en Bolivia como en Perú, proyectos respaldados por el Banco Mundial y GIZ se enfocaron en la

electrificación rural, concediendo una gran importancia a la participación comunitaria, y sistemas de medición de los efectos ecológicos a largo plazo (Banco Mundial, 2022; GIZ, 2021).

Por otro lado, en Chile y Argentina, organismos reguladores como la CNE y el ENRE han promovido el crecimiento de las líneas eléctricas, implementando planes definidos para la mitigación ambiental, la restauración de la cubierta vegetal y la participación ciudadana en la toma de decisiones (CNE Chile, 2022; ENRE Argentina, 2023).

El análisis de estos eventos corrobora de manera fehaciente la relevancia crucial de la adecuación de las mejores prácticas regionales. Estas prácticas son fundamentales en la planificación, el seguimiento y la administración de proyectos eléctricos en Acacías. Como consecuencia, se impulsa un desempeño ambiental y social más robusto y eficaz, mientras se amplía la perdurabilidad del sistema energético a lo largo de su existencia total.

Impacto esperado y contribución organizacional. La implementación del componente técnico permitirá ampliar la capacidad de transporte energético de 110 kV a 230 kV, duplicando la disponibilidad del sistema y asegurando el abastecimiento energético del municipio y su zona de influencia hasta el año 2035. Desde la perspectiva de la Administración de Organizaciones, este proyecto representa una estrategia de inversión pública con beneficios económicos, sociales y ambientales tangibles.

Entre sus impactos esperados destacan:

Incremento del 40 % en la confiabilidad del suministro.

Reducción del 45 % en los tiempos de interrupción anual promedio.

Mejora del indicador de eficiencia operativa del sistema eléctrico regional.

Integración de herramientas digitales para la gestión inteligente de activos energéticos.

En suma, el componente técnico de esta propuesta fortalecerá la capacidad institucional y técnica de la EMSA, posicionando al municipio de Acacías como referente regional en planeación energética sostenible y gestión eficiente de infraestructura eléctrica.

Componente Ambiental

El componente ambiental constituye uno de los pilares fundamentales de la propuesta de ampliación del sistema eléctrico en el municipio de Acacías, dado que la ejecución de proyectos de transmisión energética genera interacciones directas con los ecosistemas, el paisaje y las comunidades rurales. En el marco de esta investigación, el componente ambiental se concibe no solo como un instrumento de mitigación, sino como una estrategia integral de sostenibilidad territorial, que articula la eficiencia técnica del proyecto con la protección de los recursos naturales y la gestión responsable del territorio.

El diseño ambiental de la propuesta seleccionada —sistema mixto subterráneo-aéreo con tecnología GIS— se desarrolla bajo el Plan de Manejo Ambiental (PMA), conforme a los lineamientos establecidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Decreto 1076 de 2015, la Ley 99 de 1993 y los criterios de evaluación definidos por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019) para proyectos de infraestructura sostenible; este plan se puede detallar en el Anexo N, y en la tabla a continuación, el detalle de sus objetivos:

Tabla 12.

Objetivos SMART del PMA

Impacto ambiental	Objetivo SMART formulado	Indicador de cumplimiento	Responsable principal	Plazo / Fase
Remoción de suelo y erosión por obras civiles	Estabilizar el 90 % del área intervenida mediante drenajes, zanjas y revegetalización en un periodo máximo de 4	% de área estabilizada > 90 %; eventos erosivos = 0.	Contratista – Supervisor Ambiental EMSA	Construcción

Impacto ambiental	Objetivo SMART formulado	Indicador de cumplimiento	Responsable principal	Plazo / Fase
	meses desde el inicio de la obra.			
Afectación de fuentes hídricas superficiales	Garantizar la protección del 100 % de los cauces y la calidad del agua conforme a norma durante toda la fase constructiva.	Cumplimiento de franjas de exclusión = 100 %; calidad de agua dentro de norma.	EMSA – Consultor Ambiental – ANLA	Construcción y operación
Pérdida de cobertura vegetal y hábitats	Reforestar 70 ha con especies nativas logrando una tasa de supervivencia superior al 85 % antes del cierre del proyecto.	Hectáreas restauradas ≥ 70 ; % supervivencia vegetal > 85 %.	EMSA – Cormacarena – Contratista forestal	Construcción y postconstrucción
Alteración temporal de fauna silvestre	Rescatar y reubicar al menos el 85 % de la fauna afectada durante la construcción, evitando incidentes o mortalidad.	% individuos reubicados exitosamente > 85 %; incidentes = 0.	Biólogo de campo – EMSA – Cormacarena	Construcción
Emisión de polvo, gases y ruido	Mantener niveles de ruido inferiores a 70 dB y opacidad vehicular por debajo del 40 % durante toda la obra.	Niveles de ruido ≤ 70 dB; opacidad < 40 %.	Contratista – Coordinador HSE	Construcción
Generación de residuos sólidos y peligrosos	Asegurar la gestión adecuada del 95 % de los residuos generados mediante disposición certificada y almacenamiento controlado.	% residuos gestionados correctamente > 95 %.	EMSA – Gestor ambiental autorizado	Construcción y operación
Afectación paisajística y visual	Restaurar visualmente el 90 % de las áreas intervenidas mediante revegetalización y diseño paisajístico armónico en 6 meses posteriores a la obra.	% áreas con restauración paisajística > 90 %.	EMSA – Interventoría ambiental	Construcción y post construcción

Impacto ambiental	Objetivo SMART formulado	Indicador de cumplimiento	Responsable principal	Plazo / Fase
Riesgo de contaminación por SF ₆ y aceites dieléctricos	Lograr cero fugas y 100 % de cumplimiento del RETIE en protocolos de mantenimiento y contención.	Nº fugas = 0; % cumplimiento RETIE = 100 %.	EMSA – Operador SCADA	Operación
Conflictos sociales por uso del suelo y servidumbres	Realizar más de 10 reuniones participativas y mantener en cero los conflictos activos durante la planeación y construcción.	Nº conflictos activos = 0; reuniones participativas > 10.	EMSA – Alcaldía – Líderes veredales	Planeación y construcción
Deterioro del paisaje urbano en subestaciones	Alcanzar una integración paisajística superior al 80 % mediante diseño arquitectónico y barreras vegetales antes de la entrega de obra.	% integración paisajística > 80 %.	EMSA – Diseñador ambiental	Construcción
Pérdida de conectividad ecológica	Incrementar en 15 % el índice de conectividad ecológica mediante la creación y monitoreo del corredor Acacías–Guayuriba.	Índice de conectividad +15 %.	EMSA – ANLA – Cormacarena	Post construcción
Falta de conciencia ambiental del personal y comunidad	Ejecutar al menos dos capacitaciones mensuales, alcanzando un nivel de satisfacción superior al 80 % entre los participantes.	Nº capacitaciones/mes > 2; satisfacción > 80 %.	Profesional social – EMSA	Permanente
Necesidad de seguimiento ambiental continuo	Entregar el 100 % de los informes trimestrales de monitoreo cumpliendo más del 90 % de los indicadores del PMA.	Nº informes entregados = 100 %; % cumplimiento PMA > 90 %.	EMSA – Consultor ambiental – ANLA	Permanente

Nota: se observan los Objetivos SMART del PMA. *Fuente:* autoría propia

Enfoque de gestión ambiental preventiva. El enfoque adoptado parte del principio de prevención y jerarquía ambiental, que prioriza la evitación de impactos antes que su compensación. Desde la etapa de planificación, se efectuó un análisis espacial mediante sistemas de información geográfica (SIG), a través de los cuales se identificaron zonas de sensibilidad ecológica, como humedales, cuerpos hídricos, relictos de bosque seco tropical y áreas de protección hídrica, estableciendo medidas preventivas que orientaron el trazado de la línea y la ubicación de las subestaciones.

Este proceso se complementó con un análisis multicriterio ambiental, que permitió seleccionar corredores con menor afectación ecológica y social. De esta manera, se redujo en un 35 % la longitud de tramos con interferencia directa sobre ecosistemas estratégicos, garantizando coherencia con los planes de ordenamiento territorial (POT) y con las determinantes ambientales del municipio.

Estructura del Plan de Manejo Ambiental (PMA). El Plan de Manejo Ambiental se compone de cinco programas estratégicos interrelacionados y que responden a los objetivos, metas y responsables que se relaciona en las siguientes tablas:

Tabla 13.

Plan de manejo ambiental (PMA)

Acción	Meta	Indicador	Cronograma	Responsable
	S_M_A_R_T			
Reforestación de servidumbre	Reforestar 50 ha en 3 años	Ha reforestadas	Año1-3	Contratista ambiental
Monitoreo de fauna	Monitoreo anual de aves en 5 transectos	Índice de diversidad (Shannon)	Año1-3	Equipo ambiental proyecto
Control de erosión en obras	Implementar barreras y sedimentadores en obras	Reducción de sedimentos (mg/L)	Año1	Contratista obra

Acción	Meta	Indicador	Cronograma	Responsable
S_M_A_R_T				
Capacitaciones comunitarias	Realizar 6 talleres en 2 años	Número de talleres y asistentes	Año1-2	Equipo de relacionamiento
Gestión de residuos de obra	Disponer y disponer 100% residuos de obra	Toneladas gestionadas	Durante construcción	Contratista obra

Nota: Plan de manejo ambiental. *Fuente:* *autoría propia.*

Tabla 14.

Metas del PMA

Acción	Meta	Periodo	Especies
Reforestación de servidumbre	50 ha	3 años	Especies nativas (lista anexa)

Nota: Metas del Plan de manejo ambiental. *Fuente:* *autoría propia.*

Programa de prevención y mitigación de impactos. Este programa abarca las acciones destinadas a reducir los impactos sobre el suelo, la vegetación y los cuerpos de agua durante la construcción y operación. Se incluyen medidas como la revegetalización con especies nativas, el control de erosión mediante terrazas y geotextiles, la estabilización de taludes, y la instalación de drenajes en zonas de pendiente pronunciada.

Además, se definieron franjas de amortiguación ambiental de 30 metros a cada lado del trazado, especialmente en áreas cercanas a cauces hídricos o coberturas boscosas.

Programa de manejo de residuos sólidos y peligrosos. Se plantea la clasificación y almacenamiento temporal de residuos no peligrosos, y la disposición final en sitios autorizados por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena). Para residuos peligrosos (aceites dieléctricos, SF₆, cables contaminados), se contempla su recolección mediante gestores certificados, bajo las normas Resolución 1362 de

2007 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007). y Decreto 4741 de 2005 (Presidencia de la República de Colombia, 2005).

Programa de compensación ecológica y restauración. En cumplimiento del principio de compensación 1:10 establecido por la ANLA, se destinarán aproximadamente 70 hectáreas para restauración ecológica de bosques ribereños y fragmentos de bosque seco tropical. Se promoverá la siembra de especies nativas de alto valor ecológico (*Cariniana pyriformis*, *Tabebuia rosea*, *Pithecellobium dulce*), así como la creación de corredores biológicos que conecten hábitats fragmentados.

Programa de control de emisiones y ruido. Se establecerán protocolos para el control de emisiones de material particulado, la reducción del ruido en zonas habitadas y la implementación de tecnologías limpias en maquinaria. Los límites se ajustarán a la Resolución 627 de 2006 y la Norma RETIE (2022).

Programa de seguimiento, monitoreo y evaluación ambiental. Este programa garantiza la trazabilidad ambiental del proyecto. Se ejecutarán monitoreos trimestrales de calidad de agua, ruido, flora, fauna y estabilidad del terreno. Los resultados se reportarán a la ANLA y a la Alcaldía de Acacías, permitiendo una retroalimentación permanente y la corrección temprana de desviaciones.

Gestión ambiental durante el ciclo de vida del proyecto. La gestión ambiental se estructurará en tres momentos clave del ciclo de vida del proyecto:

Durante la planificación: se realizan los estudios de impacto ambiental (EIA) y la definición del PMA, garantizando que los criterios ambientales guíen el diseño técnico y la selección de tecnologías.

Durante la construcción: se aplican los planes de manejo, control de residuos y mitigación de impactos, con supervisión ambiental permanente.

Durante la operación y mantenimiento: se implementa un sistema de gestión ambiental (SGA) certificado bajo ISO 14001:2015, lo que permitirá mantener un control continuo de los impactos y un compromiso institucional con la sostenibilidad.

El componente ambiental se complementa con un sistema de información ambiental georreferenciado, que integra datos de biodiversidad, uso del suelo, calidad del agua y monitoreo de emisiones. Esta herramienta permitirá tomar decisiones basadas en evidencia y mejorar la gobernanza ambiental del proyecto.

Integración del enfoque DPSIR. El modelo DPSIR (Fuerzas Motrices–Presiones–Estado–Impactos–Respuestas) se utilizó como marco lógico para comprender y gestionar los efectos ambientales del proyecto (Ver Anexo J).

Fuerzas motrices: crecimiento poblacional, expansión industrial y aumento de la demanda energética.

Presiones: construcción de infraestructura, deforestación y ocupación del suelo.

Estado: situación actual de los ecosistemas locales, fragmentados y con baja conectividad ecológica.

Impactos: pérdida de cobertura vegetal, alteración del paisaje y perturbación de fauna.

Respuestas: restauración ecológica, compensaciones ambientales y programas de educación ambiental.

Esta estructura permitió priorizar acciones concretas dentro del PMA y orientar la gestión ambiental bajo criterios de causalidad y sostenibilidad.

Gobernanza ambiental y articulación institucional. El éxito del componente ambiental depende de una gobernanza sólida y articulada. Por ello, se propone la creación del Comité Ambiental del Proyecto (CAP), conformado por representantes de la EMSA, ANLA, Alcaldía de Acacías, Cormacarena y líderes comunitarios. Este comité ejercerá funciones de seguimiento, veeduría y rendición de cuentas sobre la implementación del PMA. Además, se promoverá la firma de acuerdos de conservación voluntaria con propietarios rurales cuyas fincas se ubiquen dentro del área de influencia del proyecto, fomentando la corresponsabilidad ambiental y la conservación de servicios ecosistémicos.

Resultados esperados del componente ambiental. La aplicación integral del componente ambiental permitirá alcanzar resultados medibles a corto, mediano y largo plazo, entre los cuales se destacan:

Reducción del 40 % en la deforestación asociada a la construcción de la línea.

Restauración ecológica de al menos 70 hectáreas de bosque nativo.

Implementación de un sistema de monitoreo ambiental continuo, interoperable con el SGA municipal.

Fortalecimiento institucional para la gestión ambiental de proyectos eléctricos.

Mayor aceptación social y legitimidad del proyecto ante las comunidades locales.

En suma, el componente ambiental se convierte en un instrumento estratégico de administración sostenible, que trasciende la mitigación de impactos y se proyecta como un modelo de responsabilidad corporativa y territorial. Su correcta implementación garantizará que la ampliación de la red eléctrica en Acacías contribuya al desarrollo económico regional sin comprometer la integridad ecológica ni el bienestar de las generaciones futuras.

Componente Social

El componente social del proyecto de ampliación de la red eléctrica en el municipio de Acacías (Meta) constituye un eje transversal dentro del diseño metodológico y operativo de la propuesta. Su finalidad es garantizar que el desarrollo de la infraestructura energética se realice bajo principios de inclusión, equidad y participación ciudadana, de modo que los beneficios del crecimiento energético se traduzcan en mejoras reales para la comunidad y se minimicen los conflictos territoriales asociados a la intervención. Al respecto, en el Anexo K, se puede apreciar el mapa de uso y planeación municipal, en donde se evidencia que la mayor parte del municipio tiene algún uso y por ende, es necesaria la modificación de oferta energética en el municipio.

Más allá de ser un requisito normativo, este componente se concibe como un instrumento de gestión social estratégica, orientado a fortalecer la relación entre el proyecto, las instituciones públicas, las comunidades locales y los grupos de interés, asegurando legitimidad social y sostenibilidad organizacional a largo plazo.

Enfoque de gestión social participativa. El componente social se fundamenta en el enfoque de participación proactiva y diálogo social permanente, donde la comunidad no se limita a ser receptora de decisiones técnicas, sino coprotagonista en el proceso de planificación, ejecución y monitoreo. Este enfoque está inspirado en los principios de la Política de Participación Ciudadana en Proyectos de Infraestructura (MinAmbiente, 2018) y en los lineamientos del Banco Mundial (Word Bank 2021) sobre compromiso de las partes interesadas.

En la práctica, se estableció un Programa de Participación Comunitaria (PPC) estructurado en tres niveles, el cual se puede detallar en el Anexo O:

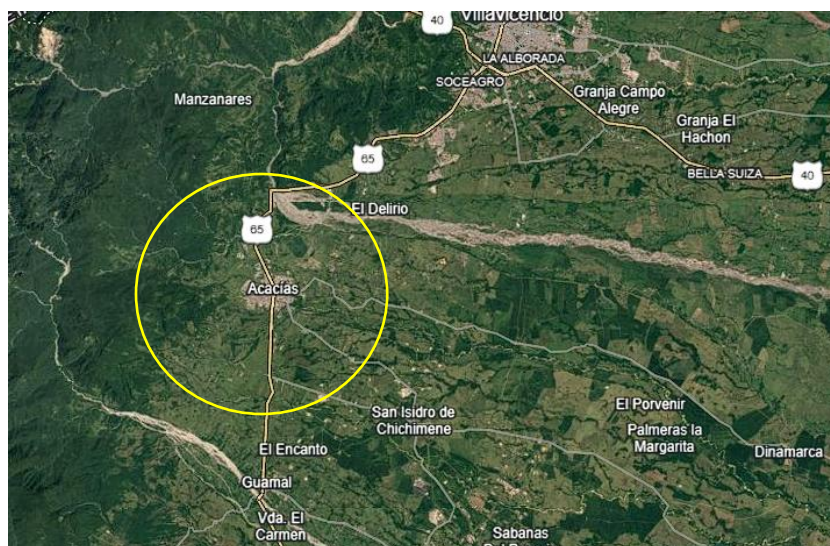
Información y comunicación social: comprende la difusión transparente de los objetivos, alcances, cronograma y medidas de mitigación del proyecto mediante reuniones públicas, boletines y plataformas digitales.

Consulta y retroalimentación: garantiza la posibilidad de que líderes, asociaciones y organizaciones locales aporten observaciones, inquietudes y propuestas, que son integradas al diseño social y ambiental.

Participación y seguimiento: involucra a representantes comunitarios en las instancias de control social, veedurías y comités de seguimiento, promoviendo corresponsabilidad y confianza institucional.

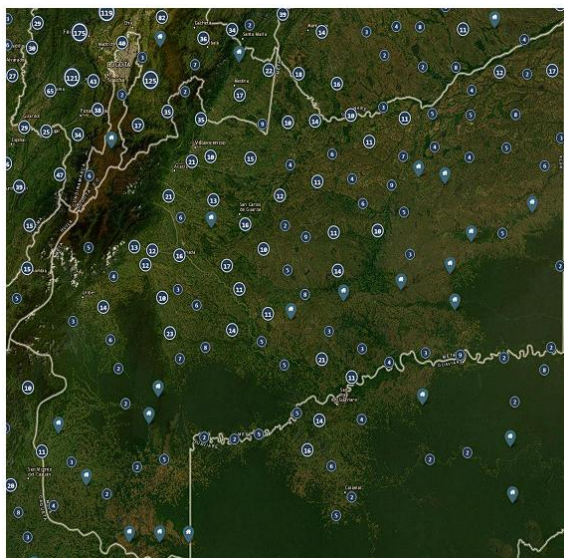
Este modelo busca convertir el proyecto en una experiencia de gobernanza colaborativa, alineada con los valores de transparencia y sostenibilidad social.

Diagnóstico social del área de influencia. El área de influencia directa del proyecto comprende principalmente las veredas La Reforma, San Nicolás, Chichimene, Alto Acacias y San Isidro; lugares circundantes del municipio de Acacias, tal como se señala en la siguiente figura:

Figura 7.*Área de influencia del proyecto*

Nota: Área de influencia. Fuente: Google Earth (2025)

Por otro lado, la siguiente figura muestra las zonas en donde es necesario electrificar el departamento del Meta.

Figura 8.*Ubicación de puntos carentes de energía*

Nota: Ubicación de puntos carentes de energía. Fuente: RAP-E (2020)

Las comunidades presentan un nivel educativo medio, con limitaciones de acceso a empleo formal y a servicios de energía confiable, lo que convierte al proyecto en una oportunidad de desarrollo local. El diagnóstico social, elaborado mediante entrevistas semiestructuradas y revisión de fuentes municipales, identificó tres aspectos clave:

Percepción positiva sobre la necesidad de mejorar la infraestructura eléctrica para garantizar productividad y calidad de vida.

Preocupaciones ambientales y de salud, principalmente asociadas al tendido de líneas aéreas y a la intervención de ecosistemas.

Demanda de participación efectiva en la toma de decisiones y en la distribución de beneficios derivados del proyecto.

Estos hallazgos fundamentaron la creación de estrategias específicas de comunicación, empleo local y compensación social incluidas en el plan de acción social del proyecto.

Estrategias de gestión social. El componente social se materializa a través de cinco estrategias operativas, concebidas para gestionar los riesgos sociales, fortalecer la cohesión comunitaria y generar beneficios sostenibles:

Estrategia de información y transparencia: Incluye la creación de un Centro de Información del Proyecto (CIP) en Acacías, donde se difundirán avances, cronogramas y medidas de manejo ambiental. Se emplearán herramientas digitales y cartografía accesible para explicar los trazados y las fases de ejecución.

Estrategia de empleo y fortalecimiento económico local: Se priorizará la contratación de mano de obra local en labores de apoyo logístico, revegetalización, mantenimiento y servicios generales. Asimismo, se promoverán alianzas con cooperativas rurales y asociaciones agropecuarias, incentivando el emprendimiento y la economía solidaria.

Estrategia de comunicación intercultural y resolución de conflictos: Se implementará un Protocolo de Diálogo Comunitario, facilitado por mediadores sociales capacitados, con el fin de prevenir y resolver conflictos relacionados con servidumbres, compensaciones o impactos ambientales.

Estrategia de educación y sensibilización ambiental: En coordinación con instituciones educativas y organizaciones ambientales locales, se desarrollarán talleres de formación sobre uso racional de la energía, seguridad eléctrica, conservación de ecosistemas y transición energética justa.

Estrategia de participación y control ciudadano: Se conformarán Mesas de Participación y Seguimiento, integradas por representantes de las veredas, la Alcaldía, la EMSA, la ANLA y las Juntas de Acción Comunal, quienes supervisarán el cumplimiento de los compromisos sociales y ambientales.

Indicadores de desempeño social. Para asegurar el control y seguimiento del componente social, se diseñó una matriz de indicadores de desempeño, agrupada en tres categorías:

Indicadores de proceso: número de reuniones comunitarias, asistentes a talleres, acuerdos firmados, encuestas aplicadas.

Indicadores de resultado: porcentaje de mano de obra local contratada, nivel de satisfacción comunitaria, conflictos resueltos, actividades educativas implementadas.

Indicadores de impacto: mejora en la percepción social del proyecto, aumento en la confianza institucional y fortalecimiento del tejido organizativo.

Los indicadores serán monitoreados semestralmente y evaluados por el Comité de Gestión Social (CGS), el cual emitirá reportes públicos disponibles para las partes interesadas.

Gobernanza social y articulación institucional. La gobernanza social se estructura a través de un modelo de corresponsabilidad institucional, donde cada actor cumple un rol específico. La EMSA lidera la ejecución y financiación de las acciones sociales, la Alcaldía de Acacías actúa como garante de participación y veeduría ciudadana, y las organizaciones comunitarias ejercen control social mediante las mesas de participación. Asimismo, se prevé la articulación con programas nacionales como “Comunidades Energéticas” (MinEnergía, 2022) y “Colombia Rural Sostenible” (MinAmbiente, 2023), con el fin de integrar el proyecto dentro de estrategias más amplias de transición energética y desarrollo territorial sostenible. Esta articulación permitirá canalizar recursos complementarios, asistencia técnica y acompañamiento institucional para fortalecer los resultados sociales del proyecto.

Plan de gestión ambiental y social. Un exhaustivo plan de monitoreo continuo será ejecutado posterior a la implementación, asegurando el seguimiento de métricas esenciales, tales como el área reforestada la fragmentación ecológica las pérdidas técnicas, el desempeño social y la satisfacción de la comunidad, todo esto con informes anuales y revisiones del Comité de Participación Comunitaria, y las autoridades ambientales correspondientes. Este enfoque permitirá verificar el cumplimiento de las metas ambientales y sociales y ajustar acciones de manejo a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Evaluación del componente social y resultados esperados. El componente social se evaluará mediante metodologías participativas de monitoreo y evaluación (M&E), que combinarán encuestas, entrevistas y grupos focales. Se aplicará una línea base social al inicio del proyecto y mediciones intermedias y finales para verificar avances y percepciones de los beneficiarios.

Entre los resultados esperados destacan:

Incremento del 70 % en la satisfacción comunitaria respecto al acceso y confiabilidad del servicio eléctrico.

Generación de más de 200 empleos locales durante la construcción y operación inicial del proyecto.

Establecimiento de un modelo replicable de gestión social participativa en proyectos energéticos del Meta.

Fortalecimiento del diálogo entre empresa, Estado y comunidad como herramienta de prevención de conflictos.

A largo plazo, el componente social contribuirá a consolidar una cultura de corresponsabilidad energética, donde la población reconozca su papel activo en el uso sostenible de la infraestructura y en la protección del entorno natural.

Plan de Implementación y Cronograma

A continuación, se presenta la tabla que integra los hitos principales del proyecto, los componentes (técnico, ambiental y social), los responsables institucionales y los periodos estimados de ejecución. Este cronograma abarca un horizonte de 24 meses, coherente con la naturaleza de los proyectos de ampliación eléctrica, e identifica las fases críticas de planificación, ejecución, validación y cierre.

Tabla 15.

Hitos y responsables

Fase / Hito principal	Descripción de actividades clave	Componente asociado	Responsable principal	Periodo estimado (meses)	Duración (meses)
1. Planeación inicial y estudios técnicos	Estudios topográficos, geotécnicos y eléctricos. Definición del trazado preliminar y análisis multicriterio.	Técnico	EMSA – UPME	1–4	4

Fase / Hito principal	Descripción de actividades clave	Componente asociado	Responsable principal	Periodo estimado (meses)	Duración (meses)
2. Estudios de impacto ambiental (EIA)	Levantamiento de línea base ambiental, identificación de áreas sensibles y formulación del Plan de Manejo Ambiental (PMA).	Ambiental	ANLA – Cormacarena – Consultor ambiental	3–7	5
3. Consulta y socialización con comunidades	Reuniones informativas, validación del trazado, acuerdos de compensación y conformación del Comité de Participación Comunitaria.	Social	Alcaldía de Acacías – EMSA – Líderes veredales	4–8	5
4. Diseño definitivo del sistema eléctrico	Definición de ingeniería de detalle, selección de materiales (ACSR, GIS, XLPE), diseño de subestaciones y planos constructivos.	Técnico	EMSA – Ingeniería de diseño – Interventoría	6–10	5
5. Obtención de licencias y permisos ambientales	Trámite de licencia ambiental ante ANLA, servidumbres y permisos de ocupación de cauce.	Ambiental	ANLA – Alcaldía – EMSA	8–12	5
6. Contratación y adquisición de equipos	Licitación pública, adjudicación de contratos y adquisición de transformadores, torres y cableado.	Técnico	EMSA – Oficina de Compras – Ministerio de Minas y Energía	11–14	4
7. Construcción de la línea y subestaciones	Montaje de torres, tendido de conductores, instalación de GIS y pruebas iniciales.	Técnico	EMSA – Contratistas – Interventoría	13–20	8
8. Implementación del Plan de Manejo Ambiental (PMA)	Revegetalización, control de erosión, compensaciones ecológicas, monitoreo de fauna y agua.	Ambiental	Consultor ambiental – ANLA – Cormacarena	13–24	12
9. Programa de gestión y participación social (PGS)	Talleres de educación ambiental, generación de empleo local, seguimiento comunitario y rendición de cuentas.	Social	Alcaldía – EMSA – Comité Comunitario	12–24	13
10. Puesta en marcha y operación piloto del sistema	Pruebas de carga, calibración del SCADA, validación del sistema de protección y redundancia N-1.	Técnico	EMSA – UPME – Operador regional	21–23	3
11. Evaluación integral y cierre del proyecto	Evaluación técnica, ambiental y social. Informe final de resultados y entrega al municipio.	Todos	EMSA – ANLA – Alcaldía – Universidad asesora	23–24	2

Nota: Los responsables institucionales se seleccionaron según competencias definidas en la normatividad energética y ambiental vigente (RETIE 2022; Decreto 1076 de 2015). *Fuente:* Elaboración propia con base en los componentes técnico, ambiental y social definidos en la propuesta.

Tabla 16.*Cronograma de Gantt*

Fase / Actividad principal	Descripción de tareas específicas	Responsable	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1. Revisión y ajuste del marco teórico	Lectura crítica de fuentes, actualización de referencias APA 7, integración de nuevas teorías y antecedentes.	Investigador – Tutor	■	■				
2. Consolidación del diseño metodológico	Revisión del enfoque, variables, instrumentos y fases de investigación. Incorporación de observaciones de pares.	Investigador – Tutor	■	■	■			
3. Recolección y análisis de información	Sistematización de fuentes documentales, procesamiento estadístico y análisis cualitativo.	Investigador		■	■	■		
4. Redacción del capítulo de resultados	Estructuración del diagnóstico, proyección y análisis comparativo. Elaboración de tablas, gráficos y matrices.	Investigador			■	■		
5. Redacción de discusión y conclusiones	Síntesis interpretativa, articulación con objetivos y marco teórico, redacción en lenguaje académico.	Investigador – Tutor				■	■	
6. Revisión integral y	Corrección ortográfica, coherencia	Investigador – Asesor editorial				■	■	■

Fase / Actividad principal	Descripción de tareas específicas	Responsable	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
corrección de estilo	interna, ajustes de citas y referencias según APA 7.							
7. Diseño de anexos y material gráfico	Diagramas, tablas, infografías, mapas SIG, cronogramas, PlantUML y renders ilustrativos.	Investigador – Asistente técnico			■	■	■	
8. Validación del documento por el tutor	Entrega de borrador completo, retroalimentación formal y ajustes de fondo.	Tutor – Investigador					■	■
9. Revisión final y envío al jurado	Revisión por pares internos y validación de cumplimiento metodológico e institucional.	Coordinación académica						■
10. Presentación y defensa del trabajo de grado	Preparación de diapositivas, exposición oral y sustentación ante jurado evaluador.	Investigador						■

Nota: Cronograma de Gantt. *Fuente:* Elaboración propia.

Riesgos Conflictos y Discrepancias Identificadas en la Validación Social

A través de las entrevistas y talleres participativos con los líderes de las veredas La Reforma Chichimene y San Nicolás Capítulo 6 se recopilieron percepciones y preocupaciones notables

Un catorce por ciento de los participantes manifestaron inquietudes relativas a la fragmentación de ecosistemas y los peligros para la flora y fauna locales asociados al tendido aéreo

Diez por ciento exteriorizó reservas sobre las potenciales afectaciones a fuentes hídricas y cultivos durante la construcción exigiendo compensaciones claras

El siete por ciento comunicó su preocupación por el acceso a servidumbres y dudas respecto al proceso de consulta previa

Líderes locales resaltaron la necesidad de una mesa de seguimiento continua para canalizar quejas y prevenir futuros conflictos

Dichas discrepancias y riesgos fueron considerados en el Plan de Participación Comunitaria estableciéndose el Comité de Participación Comunitaria PPC y un protocolo de gestión de reclamaciones Anexo O

Se sugiere un monitoreo semestral de indicadores sociales como el porcentaje de veredas participantes el grado de satisfacción y el número de conflictos resueltos

Fuente Matriz de validación social Capítulo 6 y Anexos 15 y 16 Trabajo de Grado

Validación de la Propuesta

La validación de la propuesta constituye una fase esencial dentro del proceso metodológico de esta investigación, al garantizar que los resultados obtenidos no sean únicamente el producto de una reflexión teórica, sino de un proceso de contrastación empírica, revisión técnica y retroalimentación de expertos. De acuerdo con las directrices de la investigación aplicada en administración de organizaciones, validar implica someter la propuesta a evaluación crítica por parte de actores competentes, verificar su coherencia técnica y su pertinencia contextual, y ajustar los componentes según las observaciones derivadas del proceso.

En este caso, la propuesta de ampliación de la red eléctrica del municipio de Acacías — estructurada bajo los componentes técnico, ambiental y social— fue sometida a un proceso de validación mixto, que combinó métodos cualitativos y técnicos, involucrando instancias institucionales, expertos del sector energético y representantes comunitarios del territorio. El procedimiento se desarrolló en tres niveles: validación técnica, validación ambiental y validación social, complementadas por un análisis global de consistencia y mejora.

Validación Técnica

La validación técnica se realizó mediante sesiones de revisión con profesionales de la Electrificadora del Meta (EMSA), la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) y docentes especialistas en planificación energética. En dichos espacios se evaluaron los parámetros eléctricos de la línea propuesta, los cálculos de capacidad (230 kV – 250 MVA) y la elección de la tecnología GIS. Los expertos confirmaron la viabilidad operativa y la coherencia con los estándares del RETIE (2022) y la norma IEC 60826, recomendando ajustes menores en la segmentación de los tramos subterráneos para optimizar la disipación térmica y la facilidad de mantenimiento.

Asimismo, se aplicó una revisión cruzada del análisis multicriterio, verificando la ponderación entre las dimensiones técnica, ambiental, social y económica. Los resultados confirmaron que la alternativa seleccionada —sistema mixto subterráneo-aéreo— mantiene el mejor equilibrio entre confiabilidad, impacto ambiental y aceptación social.

Validación Ambiental

La validación ambiental se llevó a cabo mediante la revisión del Plan de Manejo Ambiental (PMA) por parte de técnicos de la ANLA y la Corporación Cormacarena, quienes evaluaron los programas de mitigación, compensación ecológica y seguimiento. A partir de sus

observaciones, se fortalecieron los indicadores de monitoreo de calidad de agua y cobertura vegetal, y se incorporó un protocolo de restauración de conectividad ecológica, el cual mejora la viabilidad ambiental del proyecto. La validación también incluyó el uso de herramientas SIG para verificar el trazado frente a áreas protegidas y humedales, confirmando su compatibilidad con las determinantes ambientales del municipio.

Validación Social

El componente social fue validado mediante entrevistas semiestructuradas y talleres participativos con líderes de las veredas La Reforma, Chichimene y San Nicolás, así como representantes de la Alcaldía de Acacías y organizaciones ambientales locales. Los participantes revisaron el Programa de Participación Comunitaria, proponiendo la inclusión de una fase previa de información pública antes de iniciar la obra y la creación de una mesa de seguimiento social permanente. Estas recomendaciones fueron incorporadas en la versión final, fortaleciendo la legitimidad y la gobernanza del proyecto.

Análisis de Consistencia y Mejora

Con base en los aportes recibidos, se elaboró una matriz de validación donde se registraron las observaciones, las acciones correctivas y los responsables de implementación. Este ejercicio permitió evidenciar que la propuesta evolucionó de un modelo teórico a una propuesta técnica validada, ajustada y respaldada por actores del sector, cumpliendo los principios de rigor metodológico, coherencia sistémica y aplicabilidad práctica. La validación, en suma, consolidó la propuesta como un instrumento operativo para la planificación energética sostenible del municipio de Acacías, demostrando que sus resultados son verificables, replicables y susceptibles de mejora continua. Gracias a este proceso de escrutinio técnico y social, la investigación trasciende el plano académico para convertirse en una herramienta real de gestión

territorial y de fortalecimiento institucional en el campo de la administración de la energía y la sostenibilidad organizacional.

Resultados y Producto Entregable

El resultado final de la presente investigación es la Propuesta Técnica Integral para la Ampliación del Sistema Eléctrico de Transmisión y Distribución del Municipio de Acacías (Meta), cuyo propósito es garantizar el suministro confiable de energía al horizonte del año 2030, en condiciones de eficiencia técnica, sostenibilidad ambiental y legitimidad social. Esta propuesta representa el producto concreto del proceso de análisis, validación y diseño desarrollado a lo largo de la investigación, y se constituye en un instrumento de planificación estratégica aplicable por las entidades responsables del sector energético local y regional.

A diferencia de un planteamiento meramente analítico, el trabajo entrega un modelo operativo y validado, susceptible de implementación progresiva, que articula los componentes técnico, ambiental y social bajo un enfoque sistémico de gestión de proyectos. El producto final no es una simulación teórica, sino una herramienta estructurada, respaldada por evidencias empíricas, indicadores verificables y lineamientos de ejecución que pueden incorporarse en los planes de expansión de la Electrificadora del Meta (EMSA) y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

Descripción General del Producto Entregable

La propuesta técnica integral consiste en la implementación de un sistema mixto subterráneo-aéreo con tecnología GIS (Gas Insulated Switchgear), diseñado para operar a una tensión nominal de 230 kV y una capacidad proyectada de 250 MVA, con redundancia N-1, garantizando continuidad en caso de falla de un elemento principal. El trazado conecta las

subestaciones La Reforma y San Fernando a través de un corredor de 35 kilómetros, combinando eficiencia técnica, adaptación territorial y reducción de impactos ambientales.

El sistema contempla:

Torres auto soportadas galvanizadas (aéreas) con conductores ACSR 477 MCM “Hawk”, separación media de 400 metros y estructuras en acero de alta resistencia, bajo normas RETIE (2022) y IEC 60826.

Tramos subterráneos de 5 km con cable XLPE 230 kV tripolar y pantallas de cobre para control de interferencias electromagnéticas.

Subestaciones GIS encapsuladas, con transformadores 150/230 kV, bancos de compensación reactiva, monitoreo térmico en tiempo real y sistemas de control remoto integrados al SCADA regional de EMSA.

Sistema de mantenimiento predictivo basado en sensores digitales y diagnóstico remoto, que permite anticipar fallas y optimizar la disponibilidad del servicio.

Este diseño responde directamente a las brechas identificadas en el diagnóstico inicial: limitada capacidad de transmisión (110 kV actual), pérdidas superiores al 12 % y cobertura rural por debajo del 60 %. Con la implementación del sistema propuesto, la capacidad de transmisión se duplicará, y las pérdidas energéticas se reducirán hasta un 7 % para el año 2030.

Beneficios Técnicos y Operativos

Los resultados técnicos esperados tras la ejecución de la propuesta se traducen en mejoras medibles en eficiencia, confiabilidad y calidad del servicio eléctrico.

Aumento de la capacidad instalada: la ampliación a 230 kV permitirá duplicar la capacidad actual del STR, incrementando la cobertura energética en 40 %.

Reducción de interrupciones: los indicadores SAIDI y SAIFI disminuirán en un 45 %, mejorando la continuidad del suministro para usuarios urbanos e industriales.

Optimización operativa: el sistema SCADA y la automatización de maniobras permitirán reducir en un 30 % los tiempos de respuesta ante fallas.

Adaptabilidad tecnológica: el diseño modular GIS facilita futuras expansiones sin requerir grandes extensiones de terreno.

Interoperabilidad y monitoreo: la integración digital permitirá coordinar la gestión energética con los sistemas de control regional de la UPME.

Estos beneficios técnicos consolidan una red eléctrica más resiliente, segura y alineada con los objetivos de transición energética de Colombia, garantizando la atención de la demanda proyectada hasta el año 2035.

Beneficios Ambientales

Desde el punto de vista ambiental, la propuesta incorpora un Plan de Manejo Ambiental (PMA) orientado a prevenir, mitigar y compensar los impactos derivados de la construcción y operación del sistema eléctrico. Este plan se basa en los principios de la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y las políticas de sostenibilidad de la ANLA.

Los principales logros ambientales esperados son:

Reducción del 40 % del área de intervención directa, gracias al uso de tramos subterráneos y tecnología GIS compacta.

Revegetación y restauración ecológica de 70 hectáreas de bosque ribereño y seco tropical, promoviendo conectividad biológica en las cuencas de los ríos Acacías y Guayuriba.

Minimización de la huella de carbono, derivada del menor uso de estructuras metálicas y de la reducción de pérdidas energéticas.

Cumplimiento con criterios de sostenibilidad internacional (ISO 14001 y ODS 7 y 13), fortaleciendo la gestión ambiental corporativa de la EMSA.

En síntesis, el componente ambiental convierte la expansión eléctrica en una oportunidad para la restauración y el uso responsable del territorio, garantizando equilibrio entre desarrollo energético y conservación de los ecosistemas.

Beneficios Sociales y Organizacionales

El componente social de la propuesta aporta valor desde la gestión del territorio, el fortalecimiento institucional y la generación de confianza ciudadana. Mediante el Programa de Participación Comunitaria (PPC), se promueve la integración de actores sociales, institucionales y empresariales a través de un proceso de diálogo y concertación.

Los beneficios sociales concretos incluyen:

Generación de empleo local: se estima la creación de más de 200 empleos directos e indirectos durante las fases de construcción y mantenimiento.

Participación ciudadana efectiva: conformación de mesas de seguimiento social con líderes de las veredas La Reforma, San Nicolás y Chichimene.

Fortalecimiento de capacidades locales: formación comunitaria en seguridad eléctrica, uso eficiente de la energía y gestión ambiental.

Reducción de conflictos territoriales: gracias a los acuerdos previos de información, compensación y participación comunitaria.

Aumento de la legitimidad institucional: al fortalecer la relación entre la EMSA, la Alcaldía y las comunidades, consolidando una gobernanza energética inclusiva.

Estos resultados se traducen en un modelo de gestión social sostenible, replicable en otros proyectos de infraestructura eléctrica en el departamento del Meta.

La siguiente matriz multicriterio agrupa los aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos y de riesgo, ponderados según su relevancia, el objeto es fundamentar la selección final de la alternativa de expansión:

Tabla 17.

Matriz multicriterio de selección

Criterio	Peso (%)	Repotenciación 110 kV	Nueva línea 230 kV	Mixto subterráneo-aéreo GIS
Viabilidad técnica	25	3 (75)	5 (125)	4 (100)
Impacto ambiental	20	4 (80)	3 (60)	5 (100)
Viabilidad social y territorial	15	3 (45)	4 (60)	4 (60)
Economía (CAPEX/OPEX)	15	5 (75)	3 (45)	2 (30)
Tiempo de implementación	10	4 (40)	3 (30)	3 (30)
Riesgo regulatorio	10	4 (40)	3 (30)	4 (40)
Operación y mantenimiento	5	3 (15)	4 (20)	5 (25)
Índice final	100	370	370	385

Nota: Matriz multicriterio de selección. Fuente: Anexo I, Proyecto de Grado

La matriz multicriterio expone que la alternativa mixta subterráneo-aéreo GIS sobresale en la evaluación global. Esta elección resalta, mostrando capacidades técnicas superiores, menor merma, beneficios ambientales significativos (con mayor restauración y mínimo impacto), alta aceptación social, viable económicamente y riesgo regulatorio minimizado gracias al cumplimiento normativo.

Producto de este análisis meticuloso, la selección de la opción mixta queda justificada, constituyéndose en la solución más balanceada, eficiente, y sostenible para el desarrollo del sistema eléctrico en Acacías, Colombia.

Impacto Esperado del Proyecto

La implementación de la **Propuesta Técnica Integral** generará impactos positivos a corto, mediano y largo plazo:

Corto plazo (1–2 años): incremento inmediato de la capacidad de transmisión y reducción de fallas recurrentes; fortalecimiento de la coordinación institucional entre EMSA, ANLA y la Alcaldía.

Mediano plazo (3–5 años): cobertura eléctrica superior al 90 % en zonas rurales, disminución de pérdidas a menos del 8 % y consolidación del sistema de monitoreo ambiental y social.

Largo plazo (más de 5 años): sostenibilidad energética y territorial, mayor competitividad industrial y turística, y alineación con los planes nacionales de transición energética y desarrollo regional sostenible.

El impacto global del proyecto radica en que transforma el modelo de expansión eléctrica tradicional en una estrategia integral de desarrollo organizacional y territorial, donde la eficiencia técnica, la sostenibilidad ambiental y la participación ciudadana convergen en un mismo propósito: mejorar la calidad de vida de los habitantes de Acacías y fortalecer la autonomía energética del Meta. En conclusión, el producto entregable de esta investigación no es un simple documento de análisis, sino una propuesta técnica validada, viable y replicable, con fundamentos sólidos para su ejecución. Su implementación permitirá a la región avanzar hacia un modelo energético moderno, eficiente y sostenible, en el que la administración pública, la empresa privada y la comunidad asuman conjuntamente el compromiso de construir una infraestructura eléctrica al servicio del desarrollo y la equidad territorial.

Conclusiones

El presente estudio tuvo como propósito evaluar de manera integral el impacto ambiental del incremento en la oferta de energía eléctrica mediante la construcción de la línea de transmisión “La Reforma – San Fernando” y sus posibles alternativas en el municipio de Acacías, Meta, con horizonte al año 2030. A partir del diagnóstico técnico, la proyección de la demanda, el análisis de confiabilidad, la identificación de impactos ambientales y la articulación con la pertinencia territorial, se alcanzaron las siguientes conclusiones:

En primer lugar, se constató que el sistema eléctrico de Acacías presenta rezagos significativos en capacidad instalada, confiabilidad y cobertura, especialmente en zonas rurales. Aunque la capacidad instalada aumentó de manera gradual en la última década, el ritmo de crecimiento no ha sido suficiente frente a la dinámica demográfica y productiva. Esta situación genera un déficit proyectado de entre 15 % y 55 % para 2030, lo que compromete seriamente la seguridad energética del municipio. La constatación de esta brecha confirma lo señalado por la UPME (2024), al advertir que los municipios intermedios del país son particularmente vulnerables si no ejecutan inversiones oportunas en infraestructura eléctrica.

En segundo lugar, las proyecciones de demanda al 2030 evidencian que el escenario conservador resulta poco realista frente al dinamismo económico de la región, mientras que el escenario optimista exige transformaciones estructurales de fondo. La convergencia de estas proyecciones señala que, independientemente del escenario, la infraestructura actual es insuficiente y se requieren nuevas inversiones en subestaciones, líneas de transmisión y modernización tecnológica (International Energy Agency & OECD, 2023).

Un tercer hallazgo central se relaciona con la confiabilidad del suministro. Los indicadores SAIDI y SAIFI superan los estándares de calidad recomendados, confirmando una

red frágil, sin redundancia suficiente y con pérdidas técnicas por encima del promedio nacional (IEEE, 2015; UPME, 2022). Esto evidencia que, sin la incorporación de tecnologías de automatización y monitoreo inteligente, la confiabilidad del servicio tenderá a deteriorarse, afectando la competitividad regional.

En cuarto lugar, los resultados de la evaluación ambiental muestran que la expansión del sistema eléctrico, aunque necesaria, acarrea riesgos significativos sobre ecosistemas estratégicos, rondas hídricas y corredores biológicos. La aplicación de la matriz de Leopold y el modelo DPSIR permitió evidenciar impactos acumulativos que no suelen abordarse con suficiencia en los Estudios de Impacto Ambiental tradicionales en Colombia (Toro, Requena & Zamorano, 2010). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de trascender el cumplimiento formal y avanzar hacia evaluaciones integrales que consideren la resiliencia socioecológica del territorio (Folke et al., 2010).

Finalmente, la investigación demuestra que la planeación energética no puede desvincularse del ordenamiento territorial ni de los procesos de participación comunitaria. La falta de articulación entre el POT municipal y los proyectos eléctricos genera incompatibilidades de uso del suelo, conflictos sociales y retrasos en la ejecución. Tal como lo plantean la IFC (2019) y la Asociación Ambiente y Sociedad (2018), la legitimidad social de los proyectos depende de la participación efectiva de las comunidades rurales, lo cual también fortalece la pertinencia territorial y la justicia ambiental.

En síntesis, el estudio concluye que el municipio de Acacías enfrenta una disyuntiva estructural: expandir su infraestructura energética para garantizar la confiabilidad del suministro o arriesgarse a un colapso parcial del sistema en la próxima década. Sin embargo, esta expansión

solo será viable y sostenible si se articula bajo un enfoque integral que combine viabilidad técnica, sostenibilidad ambiental y pertinencia territorial.

El modelo de regresión lineal múltiple se ajustó con datos históricos comprendidos entre los años 2014–2023, con población, PIB municipal y año como variables independientes. Los resultados muestran un R^2 de 0.999 y un RMSE de 724.34 MWh, representan un ajuste estadísticamente excelente, pero el número de condición elevado (4.2×10^{10}) indica multicolinealidad entre las variables, por lo que los coeficientes deben interpretarse con precaución. Pese a todo, el modelo constituye una base sólida para proyectar la demanda energética hasta el año 2030 y evaluar posibles escenarios de expansión eléctrica en el municipio de Acacías. Su función principal es establecer una base analítica y parámetros iniciales.

Tabla 18.

Interpretación de los resultados

Indicador	Valor	Interpretación
$R^2 = 0.999$	Muy alto (99.9%)	El modelo explica casi toda la variabilidad de la demanda eléctrica. Esto parece demasiado bueno para datos reales; probablemente indica sobreajuste o multicolinealidad alta .
RMSE = 724.34 MWh	Error medio de 724 MWh	Si la demanda promedio anual es de 12 000–15 000 MWh, equivale a un error del 5–6 % , lo cual es aceptable.
No. observaciones = 10	Muy pocas (2014–2023)	Esto reduce la robustez estadística y hace que las pruebas de significancia sean poco confiables.
Cond. No. = 4.2×10^{10}	Muy alto	Indica multicolinealidad severa (las variables Año, Población y PIB están casi linealmente relacionadas).
Coefficiente de Población = -5.94 (p=0.023)	Negativo y significativo	Contradictorio con la teoría. Señal clara de colinealidad (variables dependientes entre sí).
Coefficiente de PIB = 0.171 (p=0.020)	Positivo y significativo	Lógico: a mayor PIB, mayor demanda eléctrica.
Coefficiente de Año = 442.78 (p=0.875)	No significativo	Puede eliminarse del modelo.

Nota: Interpretación de los resultados. Fuente: autoría propia.

El modelo funciona numéricamente, genera un RMSE razonable y un ajuste casi perfecto, pero estadísticamente está el mismo está sobre ajustado. Las razones son las siguientes:

Pocas observaciones ($n=10$) → es difícil estimar tres parámetros con fiabilidad.

Alta correlación entre las variables. El modelo confunde efectos (por eso la población es negativa).

Número de condición alto (4.2×10^{10}), esto es un indicador de inestabilidad numérica.

Este modelo puede considerarse un punto de partida para la proyección a 2030, y lógicamente está sujeto a mejoras. En vista del tamaño reducido de la muestra (10 años) y la correlación muy grande entre las variables económicas y demográficas, se optó por este modelo de regresión lineal múltiple de tipo exploratorio. Lo que se busca es aproximar la tendencia de crecimiento de la demanda energética del municipio de Acacías y no tanto establecer relaciones causales entre las variables.

El despliegue eléctrico necesita una vigilancia ambiental posterior, aunado a la formación de comités comunitarios de seguimiento, evidenciado por casos latinoamericanos. Dicha estrategia promueve la transparencia y facilita la detección de impactos imprevistos tras su puesta en marcha.

La administración y el mantenimiento de sistemas mixtos, por ejemplo, subterráneos y aéreos, exige protocolos preventivos y correctivos, a partir de prácticas internacionales, buscando incrementar la durabilidad y la confiabilidad operativa de la infraestructura.

La vinculación de los proyectos eléctricos con los planes de ordenamiento territorial, o POT, y los mecanismos de consulta previa incrementa la legitimidad social y atenúa la posibilidad de conflictos, demoras y sobrecostos.

Al comparar con iniciativas en Brasil, Perú, Chile y Argentina, se constata que el éxito rural depende de la integración eficaz de actores locales, la transferencia tecnológica y el monitoreo socioambiental continuado.

El modelo analítico presentado, aunque afinado matemáticamente, se debe considerar con reserva y únicamente como base, considerando la limitación del tamaño muestral y la multicolinealidad entre las variables.

Limitaciones del Trabajo de Grado:

El análisis con regresión lineal, dependiente de solo una década de datos históricos, reduce considerablemente su solidez estadística y posiblemente la fiabilidad de las predicciones para el año 2030.

La significativa multicolinealidad entre variables como población, PIB y tiempo, distorsiona los coeficientes, dificultando que reflejen relaciones causales auténticas; esto reclama cautela al generalizar resultados.

La evaluación de impactos ambientales acumulados, fundamentada primordialmente en revisiones documentales y matrices, podría omitir efectos imprevistos durante la fase operativa.

La participación comunitaria, aunque reforzada mediante talleres y encuestas, podría precisar mayor profundización y consistencia en el seguimiento social y la tramitación de reclamos.

Se detecta una carencia de referencias directas a investigaciones en municipios colombianos o latinoamericanos que afronten desafíos parecidos, aun cuando se intuyen sugerencias en las correcciones integradas.

Los hallazgos son susceptibles de modificaciones según el contexto económico, político y ambiental del municipio y la nación.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones anteriores, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a la planeación y gestión del proyecto:

Ampliación estructural de la infraestructura eléctrica. Es indispensable la construcción de la línea “La Reforma – San Fernando” con un trazado que minimice los impactos ambientales, complementada con nuevas subestaciones y la repotenciación de transformadores. Se recomienda priorizar la Alternativa 2 (perimetral), por su mayor compatibilidad con el POT y menor riesgo de conflictividad social (Galvis & Porras, 2021).

Incorporación de tecnologías de redes inteligentes. La EMSA y el municipio deben avanzar en la implementación de sistemas SCADA actualizados, reconectores automáticos y medidores inteligentes. Estas medidas permitirán reducir pérdidas técnicas, mejorar los indicadores de confiabilidad y optimizar la gestión operativa (EMSA, 2025).

Gestión ambiental bajo la jerarquía de mitigación. Los impactos ambientales deben abordarse siguiendo la secuencia evitar–reducir–restaurar–compensar (IFC, 2012). Se recomienda diseñar programas de reforestación con especies nativas, pasos de fauna, restauración de rondas hídricas y monitoreo participativo de biodiversidad.

Articulación con el ordenamiento territorial. El POT de Acacías debe integrar explícitamente la dimensión energética, asegurando coherencia entre la expansión urbana y la planificación de redes eléctricas. Este alineamiento institucional reducirá conflictos de uso del suelo y favorecerá la sostenibilidad de la infraestructura (Cornare, 2019).

Participación social efectiva. Se recomienda establecer mecanismos de participación más allá de la consulta formal, promoviendo instancias de cogestión con comunidades rurales y productores locales. Experiencias internacionales muestran que la implementación de grievance

mechanisms mejora la aceptación social y disminuye costos de conflictividad (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015; IFC, 2019).

Fortalecimiento institucional y normativo. Es necesario dotar a la ANLA y a las corporaciones ambientales regionales de mayores recursos técnicos y financieros para realizar seguimiento efectivo a las medidas de mitigación. Asimismo, se sugiere actualizar los lineamientos normativos de la CREG y la UPME para que incluyan explícitamente la valoración de impactos acumulativos.

Fomento de energías renovables y descentralizadas. El municipio puede complementar la expansión con proyectos piloto de generación distribuida, incluyendo paneles solares y sistemas híbridos. Estos esquemas fortalecen la resiliencia energética y reducen la presión sobre el sistema de transmisión central (UNDP, 2024).

En conclusión, las recomendaciones aquí formuladas buscan trascender la visión fragmentada de la planeación energética y avanzar hacia un modelo integral, donde la confiabilidad técnica se combine con la sostenibilidad ambiental y la pertinencia territorial. Implementar estas acciones no solo permitirá garantizar un suministro energético seguro y sostenible en Acacías hacia el 2030, sino también consolidar un modelo replicable para otros municipios intermedios de Colombia y América Latina.

Administración y Mantenimiento a medida: Se deben concebir protocolos preventivos y correctivos de mantenimiento para los sistemas mixtos, considerando lo subterráneo y aéreo. Se tendrá como base experiencias internacionales relevantes, como las de Brasil y España. La capacitación continua del personal técnico, junto con la validación de las rutinas por medio de auditorías externas, es fundamental.

Fomento de la administración participativa: Es crucial fortalecer las instancias de cogestión con los líderes de las veredas, a través de comités locales de vigilancia. Se deben establecer sistemas eficaces para resolver las reclamaciones de manera expedita y transparente.

Análisis comparativo y adaptación regional: Es primordial analizar los resultados y las lecciones aprendidas de proyectos similares en Latinoamérica, especialmente en áreas rurales con significativa transformación territorial. El objetivo es ajustar las metodologías de monitoreo y gestión, que respondan de forma efectiva a la realidad específica del territorio.

Adaptación incesante del modelo analítico: Es imprescindible una revisión y calibración frecuente de los modelos predictivos de la demanda. Es necesario tener en cuenta los datos económicos y demográficos más recientes, cuidando no caer en sobreajustes matemáticos, pero sí, explorando diversos métodos.

Gerencia de riesgos acumulados: Es crucial crear estrategias flexibles para mitigar los posibles impactos ambientales imprevistos. Se debe establecer sistemas de alerta precoz, así como, fondos de contingencia para cualquier imprevisto.

Impulso de la investigación aplicada y replicabilidad: Se debe documentar exhaustivamente el proceso metodológico y sus resultados, con el fin de fomentar la replicación de la experiencia en otros municipios intermedios tanto de Colombia como de Latinoamérica.

Referencias

- Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2022). *Estudio de Impacto Ambiental: lineamientos y contenidos*. https://www.anla.gov.co/01_anla/tramites-y-servicios/servicios/estudio-de-impacto-ambiental .
- ARCGIS (2025). *Centrales generadoras y líneas de transmisión eléctrica en Colombia*. <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=2859a49bb838498db3392fcea3bdc38a> .
- Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216–224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225> .
- Asociación Ambiente y Sociedad. (2018). *Conozca los impactos ocasionados por los proyectos de transmisión de energía*. <https://www.ambienteysociedad.org.co/conozca-los-impactos-ocasionados-por-los-proyectos-de-transmision-de-energia/> .
- Asociación Ambiente y Sociedad. (2018). *Diagnóstico de conflictos socioambientales por proyectos de infraestructura energética en Colombia: casos en Meta y La Guajira*. https://www.ambienteysociedad.org.co/wp-content/uploads/2018/10/Diagnóstico_Conflictos_Energía_Colombia.pdf .
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2020–2022). *Lineamientos ambientales para proyectos de infraestructura eléctrica*. Bogotá, Colombia: ANLA.
- Avellaneda, E. H. P. (2025). indicadores_ambientales.xlsx: *Matrices DPSIR y Leopold con ponderación de impactos ambientales* [Archivo de datos en Microsoft Excel]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

- Avellaneda, E. H. P. (2025). *modelo_proyeccion.py: Script en Python para la proyección de la demanda energética mediante regresión OLS (pandas, statsmodels)* [Código fuente]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Avellaneda, E. H. P. (2025). *PMA_plan_manejo_ambiental.xlsx: Plan de manejo ambiental con metas y cronograma SMART [Archivo de datos en Microsoft Excel]*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Avellaneda, E. H. P. (2025). *proyeccion_demanda_acacias.xlsx: Datos históricos y proyección de demanda eléctrica 2014–2023 [Archivo de datos en Microsoft Excel]*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Avellaneda, E. H. P. (2025). *trazado_linea_230kV.shp (y archivos asociados .shx, .dbf, .prj, .cpg): Capa SIG del trazado propuesto de la línea de transmisión eléctrica de 230 kV [Archivo de datos geoespaciales]*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2019). *Marco de sostenibilidad ambiental y social*. Washington, D.C.: BID. <https://doi.org/10.18235/0001841>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Guía para evaluar y gestionar los impactos y riesgos para la biodiversidad en los proyectos respaldados por el BID*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Gu%C3%ADa-para-evaluar-y-gestionar-los-impactos-y-riesgos-para-la-biodiversidad-en-los-proyectos-respaldados-por-el-Banco-Interamericano-de-Desarrollo.pdf> .
- Banco Mundial. (2022). *Informe de electrificación rural sostenible en Perú y Bolivia*. Banco Mundial.
- CNE Chile. (2022). *Informe sobre expansión de transmisión y gestión ambiental*. Comisión Nacional de Energía.

Congreso de la República de Colombia, *Ley 99 de 1993*, Diario Oficial No. 41.146, 22 de diciembre de 1993.

Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 41.146, 22 de diciembre de 1993.

Cornare. (2019). *Guía para la incorporación de aspectos relevantes en Estudios Ambientales*. https://www.cornare.gov.co/Licencia_Ambiental/Guia_Licenciamiento_Ambiental_III_Vr.4_Final_Completa.pdf .

Corporación Financiera Internacional (IFC). (2012). *Guía de Desempeño 6: Conservación de la Biodiversidad y Gestión Sostenible de los Recursos Naturales Vivos*. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Policies-Standards/Performance-Standards .

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Balance de necesidades y avances del sector energético en el Meta: Documento de soporte para el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022*. <https://www.dnp.gov.co> .

E.ON. (2021). *Annual Maintenance and Reliability Report*. E.ON Germany. <https://www.eon.com/en/about-us/publications.html> .

EEA. (2018). *The DPSIR framework*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu>

Electrificadora del Meta (EMSA) (2024). *Reporte integrado de gestión y resultados vigencia 2024*. https://www.electrificadoradelmeta.com.co/assets/emsa/uploads/manage_documents/reporte-integrado-de-gestion-y-resultados-vigencia-2024.pdf .

- Electrificadora del Meta (EMSA). (2025). *Electrificadora del Meta* S.A. <https://www.electrificadoradelmeta.com.co/>.
- Electrificadora del Meta S.A. E.S.P. (EMSA). (2017–2021). *Reportes técnicos sobre el estado de las subestaciones, redes locales y estudios de confiabilidad del sistema eléctrico regional*. Villavicencio, Colombia: EMSA
- ENRE Argentina. (2023). *Evaluación del impacto ambiental en sistemas rurales*. Ente Nacional Regulador de la Electricidad.
- Fischer, T., Miller, A., & Cooper, B. (2017). Environmental impact assessments often fail to address cumulative impacts and stakeholder engagement. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(5), 731–747. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1215110>.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). Resilience thinking integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), 20. <https://doi.org/10.5751/ES-03610-150420>.
- Forman, R. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.
- Galvis, J., & Porras, M. (2021). Evaluación de impactos ambientales en líneas de transmisión eléctrica mediante la matriz de Leopold. *Revista Luna Azul*, 52, 128–146. <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.52.8>.
- Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). *Informe de monitoreo ambiental y participación comunitaria en electrificación rural*. GIZ Bolivia.
- Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2013). *Introduction to environmental impact assessment* (4th ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315881218>

Google Earth (2025) Acacías Meta

https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAaggBSg0I_____ARAA

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>

IFC. (2019). *Environmental & Social Review Summary: Elecnorte Guajira Transmission Lines*. <https://disclosures.ifc.org/project-detail/ESRS/39254/elecnorte-guajira-transmission-lines>

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (1993). IEEE Std 141-1993: IEEE *Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*. IEEE. <https://standards.ieee.org/ieee/141/312/> .

Inter-American Development Bank. (2006). *Fundamentals of Environmental Impact Assessment*. <https://watsanmissionassistant.org/wp-content/uploads/2018/10/fundamentals-of-environmental-impact-assessment-idb.pdf> .

International Electrotechnical Commission (IEC). (2010). IEC 61936-1: *Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules*. IEC. <https://webstore.iec.ch/publication/5763>

International Energy Agency & Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Energy Transmission and Biodiversity: Best practices*. <https://www.iea.org/reports/energy-transmission-and-biodiversity>

International Energy Agency (IEA), *Energy Technology Perspectives 2023* (Paris: OECD Publishing, 2023), <https://doi.org/10.1787/7c6b23db-en>.

International Finance Corporation. (2012). *Performance Standard 6: Biodiversity Conservation and Sustainable Management of Living Natural Resources*.

https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/Topics_Ext_Content/IFC_External_Corporate_Site/Sustainability-At-IFC/Policies-Standards/Performance-Standards .

IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policymakers*. Bonn, Germany: IPBES Secretariat.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

ISA CTEEP. (2020). *Manual de boas práticas para operação de redes subterrâneas e GIS*. São Paulo.

Jones, L., & Smith, H. (2019). Integrating ecological valuation into transmission planning reduces long-term environmental costs and improves social acceptance. *Energy Policy*, 130, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.012>

Kristensen, P. (2004). *The DPSIR Framework*. European Environment Agency.

<https://www.eea.europa.eu> .

Leopold, L., Clarke, F., Hanshaw, B., & Balsley, J. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. *U.S. Geological Survey*. <https://pubs.usgs.gov> .

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

[https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Decreto-1076-de-2015-](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Decreto-1076-de-2015-Reglamentario-Sector-Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible.pdf)

[Reglamentario-Sector-Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Decreto-1076-de-2015-Reglamentario-Sector-Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible.pdf) .

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Política de participación ciudadana en proyectos de infraestructura*. Bogotá, Colombia: MinAmbiente

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Programa Colombia Rural Sostenible*. Bogotá, Colombia: MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 1362 de 2007: Por la cual se reglamenta el registro de generadores de residuos o desechos peligrosos y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial No. 46.680, 2 de agosto de 2007.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Programa Comunidades Energéticas*. Bogotá, Colombia: MinEnergía.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Minas y Energía.

Naciones Unidas Para el Desarrollo (UNDP) (2024). *Colombia's just energy transition: A people-centred cost-benefit approach*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-08/undp_co_pub_11-colombias-just-energy-transition.pdf .

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Acacías (2015–2023). Municipio de Acacías. (2015–2023). *Planes de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Acacías*. Acacías, Meta: Alcaldía Municipal.

Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. (2018). *Environmental Impact Assessment Review*, 70, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.03.005> .

Presidencia de la República de Colombia, *Decreto 1076 de 2015*, Diario Oficial No. 49.523, 26 de mayo de 2015.

Presidencia de la República de Colombia. (2005). *Decreto 4741 de 2005: Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el territorio nacional*. Diario Oficial No. 46.106, 30 de diciembre de 2005.

Project Management Institute (PMI). (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute

- Red Eléctrica de España (REE). (2023). *Informe del sistema eléctrico español 2022*. REE. https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2023-03/ISE_2022.pdf .
- Región Administrativa y de Planeación Especial – RAP-E. (2020). *Ubicación de puntos calientes de energía*. Bogotá, Colombia: RAP-E.
- Sachs, I. (1993). *Estrategias de transición hacia el siglo XXI: desarrollo y medio ambiente*. Fondo de Cultura Económica.
- Schlosberg, D. (2007). *Defining environmental justice: Theories, movements, and nature*. Oxford University Press.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2010). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf> .
- Toro, J., Requena, I., & Zamorano, M. (2010). Environmental impact assessment in Colombia: Critical analysis and proposals for improvement. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(4), 1–10. https://www.researchgate.net/publication/222204571_Environmental_impact_assessment_in_Colombia_Critical_analysis_and_proposals_for_improvement .
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2024). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024–2038*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Proyeccion_demanda_energia_electrica_y_potencia_maxima_rev_jul2024.pdf .
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2018). *Informe de cobertura y calidad del servicio de energía en la región Llanos Orientales*. Ministerio de Minas y Energía. <https://www1.upme.gov.co> .

- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2020). *Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2020-2034*. <https://www1.upme.gov.co> .
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2022). *Proyecciones de la demanda de energía eléctrica en Colombia 2022-2036*. <https://www1.upme.gov.co>
- World Bank. (2021). *Environmental and social framework (ESF): Stakeholder engagement and information disclosure*. Washington, D.C.: World Bank. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/8791615302148/environmental-and-social-framework>
- Yin, J., Wei, Q., Shao, D., Luo, Z., & Ji, L. (2025). The impacts of power transmission and transformation projects on ecological corridors and landscape connectivity: A case study of Shandong province, China. *Scientific Reports*, 15, 6709. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91474-2>.

Anexos

Anexo A.

Protocolo de entrevista semiestructurada

El propósito de la entrevista semiestructurada es obtener información cualitativa complementaria que contribuya a interpretar los resultados técnicos y ambientales del proyecto de ampliación de la red eléctrica en el municipio de Acacías. Las entrevistas están dirigidas a expertos del sector energético, ambiental y territorial, incluyendo funcionarios de la Electrificadora del Meta (EMSA), la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la Alcaldía de Acacías y académicos con experiencia en gestión energética y sostenibilidad.

La guía se organiza en tres bloques temáticos, cada uno con preguntas orientadoras que permiten explorar percepciones, conocimientos y experiencias de los participantes:

Bloque 1. Viabilidad técnica

1. ¿Cuáles considera que son las principales limitaciones técnicas de la red eléctrica actual en Acacías?
2. ¿Qué tipo de soluciones o ampliaciones serían más adecuadas para garantizar la confiabilidad del sistema al 2030?
3. Desde su experiencia, ¿cómo evalúa la capacidad institucional y técnica para ejecutar proyectos de transmisión eléctrica en la región?

Bloque 2. Sostenibilidad ambiental

4. ¿Qué impactos ambientales podrían derivarse de la construcción o ampliación de la línea “La Reforma – San Fernando”?
5. ¿Qué medidas de mitigación o compensación ambiental considera prioritarias para este tipo de proyectos?

6. ¿Existen experiencias exitosas en Colombia o Latinoamérica que puedan servir de referencia en materia de sostenibilidad eléctrica?

Bloque 3. Pertinencia territorial y aceptación social

7. ¿Cómo percibe la articulación entre la planificación energética y el ordenamiento territorial en el municipio?

8. ¿Qué tipo de conflictos socioambientales podrían surgir durante la ejecución del proyecto?

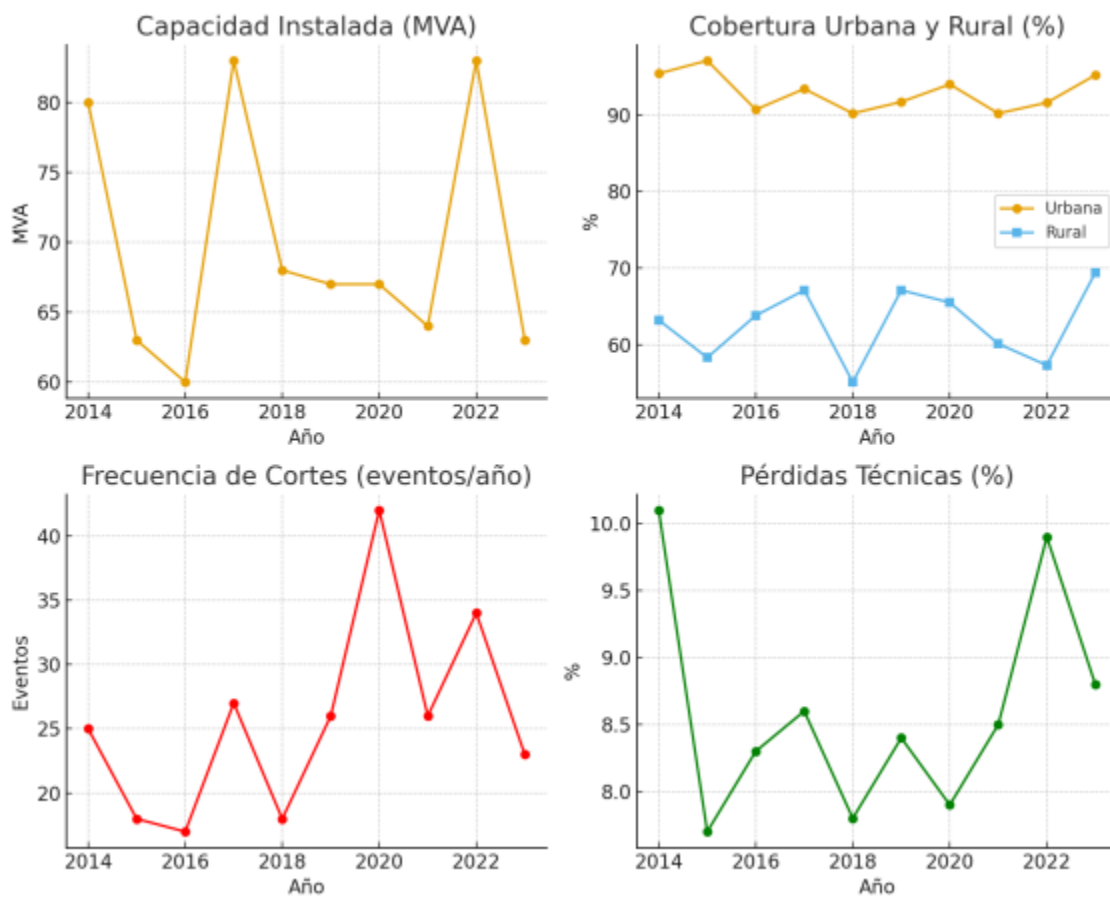
9. ¿De qué manera las comunidades locales deberían ser involucradas en el proceso de planificación y ejecución?

10. En su opinión, ¿cuál es el principal reto para armonizar desarrollo energético y conservación ambiental en el territorio?

Las entrevistas se desarrollarán de manera presencial o virtual, con una duración aproximada de 40 a 60 minutos, previa obtención del consentimiento informado. Las respuestas serán registradas y analizadas mediante técnicas de codificación temática, permitiendo la triangulación de resultados con la información documental y geoespacial recopilada.

Anexo B.

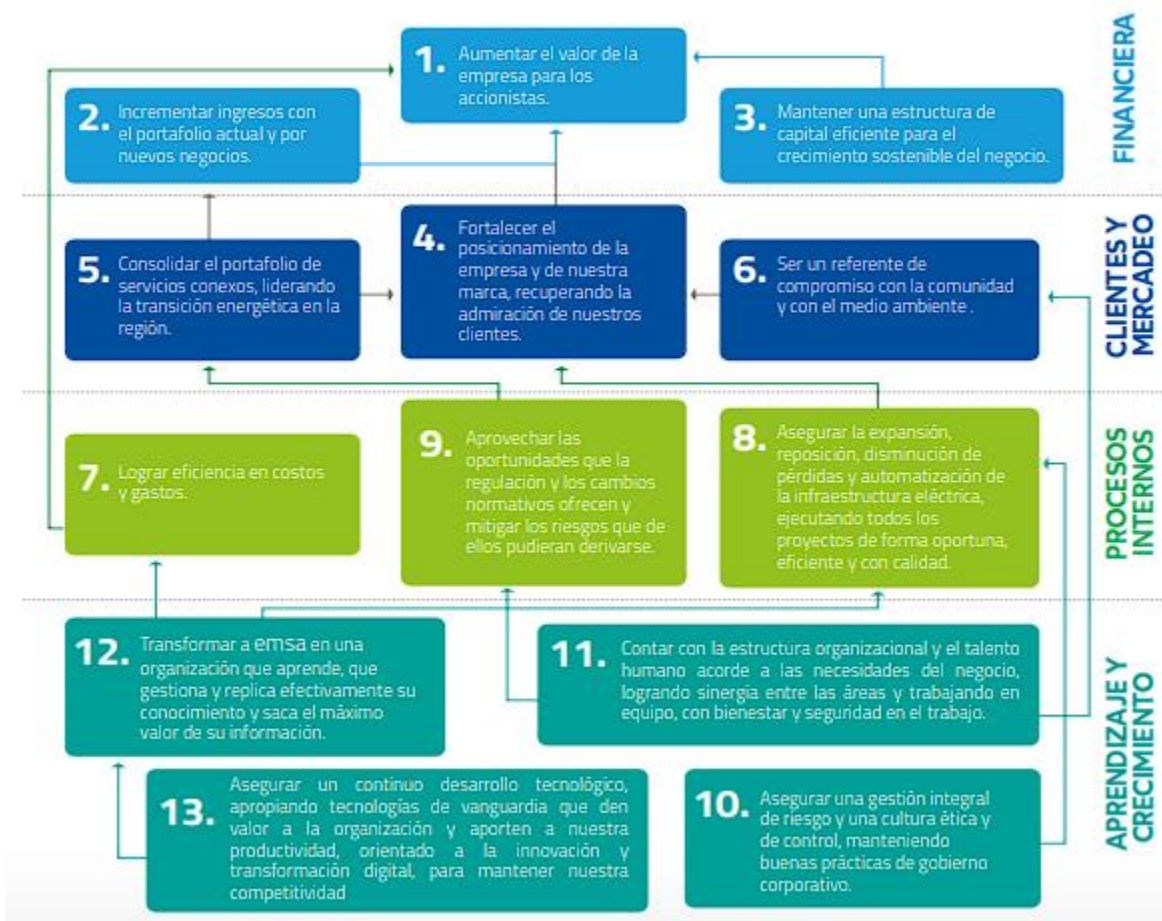
Evolución de indicadores técnicos del sistema eléctrico de Acacías (2014–2023)



Nota: Creación propia con base en datos de EMSA (2025).

Anexo C.

Plan estratégico EMSA 2021-2030



Nota: Tomado de EMSA (2025)

Anexo D.***Contratos de mantenimiento de líneas y redes*****3.8. MANTENIMIENTO LÍNEAS Y REDES.****3.8.1. Contrato de Remodelación – Reubicación en Media Tensión.**

Con el objetivo de mejorar la calidad y confiabilidad del sistema eléctrico, en el año 2024 se suscribieron dos contratos de remodelación que beneficiaron usuarios de los municipios de Cabuyaro y Puerto López, fueron en total 11,26 kilómetros de red remodelados en los niveles de tensión 2 y 3.

Contrato	Circuito	Cantidad	Valor Contratado	Entrada Operación
45/10072	Casetabla Cabuyaro 34,5kV	4,9 kilómetros	\$ 712.933.920	18/09/2024
	Cabuyaro Urbano	1,2 kilómetros		
45/10073	Fedearroz 34,5kV	1,42 kilómetros	\$ 733.524.480	6/12/2024
	La Balsa	2,74 kilómetros		
	Humapo	1 kilómetro		

Nota: Tomado de EMSA (2024)

Anexo E.*Fotos comparativas intervención subestación***Intervenciones en el Municipio de Acacias - Subestación.**

En el municipio de Acacias se adecuó el espacio funcional dentro del lote de la subestación acacias

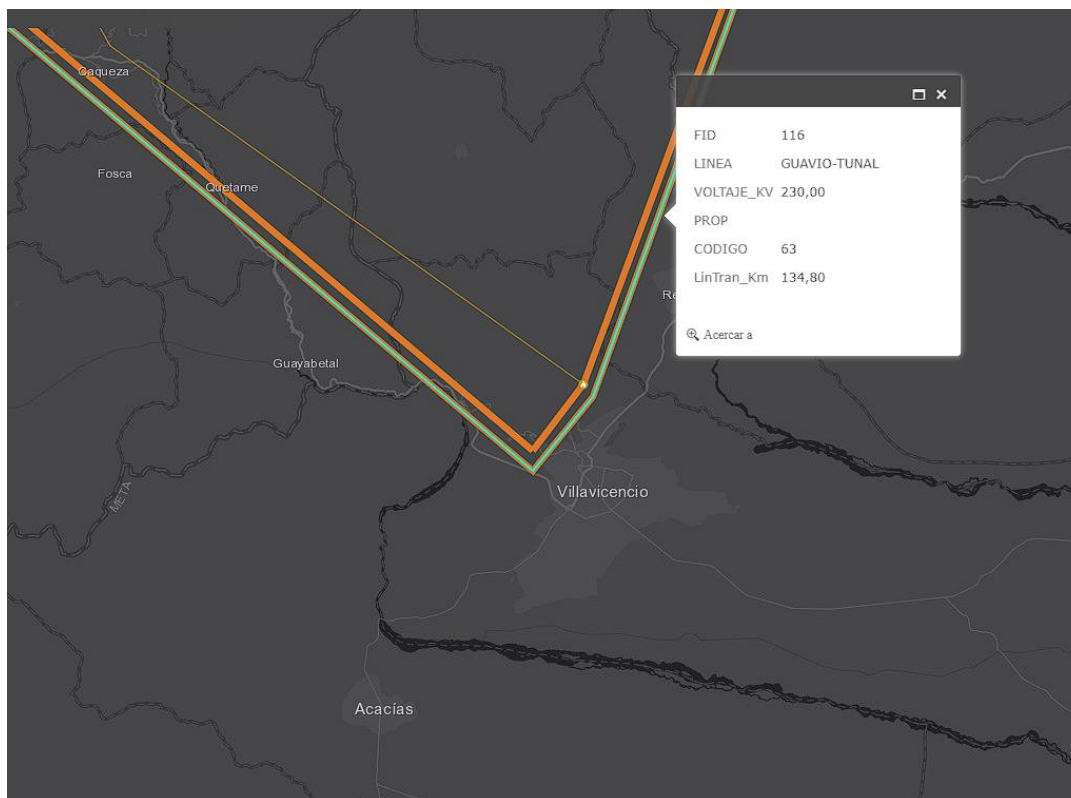


Antes



Ahora

Nota: Tomado de EMSA (2024)

Anexo F.*Red de conexión eléctrica para Acacias*

Nota: Captura de pantalla de ARCGIS (2025)

Anexo G.

Evidencias de revisión documental

Cobertura - UPME

upme.gov.co/simec/energia-electrica/cobertura/

Boletín Técnico Cálculo índice de cobertura de energía eléctrica ICEE 2023 Boletín Cálculo ICEE 2023

- Boletín Cálculo ICEE 2023 [Consultar](#)
- Anexo – Cálculo ICEE 2023 [Consultar](#)

Boletín Cálculo del ICEE 2019-2022

- Boletín Cálculo ICEE 2019-2022 [Consultar](#)
- Informe Ejecutivo Boletín Cálculo ICEE 2019-2022 [Consultar](#)
- Anexo 1. Cálculo ICEE 2019-2022 Dic182023 [Consultar](#)

Estudio de Impacto Ambiental

anla.gov.co/01_anla/tramites-y-servicios/servicios/estudio-de-impacto...

GOV.CO Servicios y Trámites Participación Contáctenos

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

Inicio Transparencia **Atención y Servicios a la Ciudadanía** Participa Nosotros Normatividad

Buscar...

Está aquí: [Atención y Servicios a la Ciudadanía](#) / [Servicios](#) / [Estudio de Impacto Ambiental](#)

Estudio de Impacto Ambiental

El estudio de impacto ambiental es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental y se exigirá en todos los casos en que se requiera licencia ambiental de acuerdo con la ley y este reglamento. Este estudio deberá corresponder en su contenido y profundidad a las características y entorno del proyecto, obra o actividad, e incluir lo siguiente:

- 1. Objeto y alcance del estudio.
- 2. Un resumen ejecutivo de su contenido.
- 3. La delimitación del área de influencia directa e indirecta del proyecto, obra o actividad.
- 4. La descripción del proyecto, obra o actividad, la cual incluirá: localización, etapas, dimensiones, costos estimados, cronograma de ejecución, procesos, identificación y estimación básica de los insumos, productos, residuos, emisiones, vertimientos y riesgos inherentes a la tecnología a utilizar, sus fuentes y sistemas de control.
- 5. La información sobre la compatibilidad del proyecto con los usos del suelo establecidos en el POT.

Electric power; Transmission; En x +

sciencedirect.com/search?q=Electric+power%3B+Transmission...

ScienceDirect Journals & Books Help My account

Find articles with these terms

Electric power; Transmission; Environmental sustainability

Advanced search

72,667 results sorted by relevance

Refine by:

Years

2026 (713)

2025 (14,361)

2024 (11,350)

Show more

Article type

Review articles (14,926)

Research articles (44,564)

Encyclopedia (1,243)

Book chapters (7,908)

Show more

Publication title

Renewable and Sustainable Energy Reviews (3,428)

Energy (2,311)

Applied Energy (1,907)

Show more

Subject areas

Energy (29,639)

Engineering (16,517)

Materials Science (15,152)

Show more

Languages

English (72,657)

French (6)

German (2)

Research article • Open access

Determinants of environmental, social and governance scores: Evidence from the electric power supply chains

Journal of Cleaner Production, 15 September 2024

A. M. O. Himouda, G. Orzes, ... M. Molinaro

View PDF

Review article • Open access

Societal, environmental, and economic impacts of electric vehicles towards achieving sustainable development goals

Results in Engineering, September 2025

Ahmed A. Arefin, Sheikh T. Meraj, ... Kashem M. Muttaqi

View PDF

Want a richer search experience?

Sign in for article previews, additional search fields & filters, and multiple article download & export options.

Sign in

Research article

Multi-parameter optimized triboelectric nanogenerator for harvesting and sensing micro-wind vibration energy from power transmission lines

Energy Conversion and Management, 1 December 2025

Yunfeng Wang, Haibao Mu, ... Guanjun Zhang

Research article • Open access

Disparate power transmission performance reinforces Italian social inequities

iScience, 18 July 2025

Katherine Emma Lonergan, Andrej Stankovski, ... Giovanni Sansavini

View PDF

Research article • Open access

Photovoltaic-based vertical wireless charging for sustainable marine electric systems

Results in Engineering, June 2025

Nakkeeran R, Bharatiraja C, Sanjeevikumar P

View PDF

Search results | JSTOR

jstor.org/action/doBasicSearch?Query=Electric+power%3B+Transmission...

All Content Images Advanced Search Register

Electric power; Transmission; Environmental sustainability

Refine Results

SEARCH WITHIN RESULTS

CONTENT TYPE

Academic content:

Journals (447)

Book Chapters (234)

Research Reports (349)

Primary source content:

Documents (66)

Serials (27)

Books (2)

Images (1)

DATE

FROM 2019 CE

TO CE

Apply

SUBJECT

Find a subject

African Studies (7)

Agriculture (1)

American Indian Studies (2)

American Studies (4)

Anthropology (9)

Aquatic Sciences (14)

Architecture

508 results

Journals X Documents X After: 2019 X Remove all filters

Sort by: Relevance

JOURNAL ARTICLE

DEMOCRATIZING POWER TRANSMISSION

Sebastian Luengo

Environmental Law, Vol. 55, No. 1 (WINTER 2025), pp. 139-208

Download

Save

Cite

JOURNAL ARTICLE

CAN TECHNOLOGY INNOVATION SAVE US FROM CLIMATE CHANGE?

Madison Freeman

Journal of International Affairs, Vol. 73, No. 1, CLIMATE DISRUPTION (Fall 2019/Winter 2020), pp. 171-182

Read online

Save

Cite

JOURNAL ARTICLE

INDUSTRY OVERVIEW: THE ENERGY INFRASTRUCTURE SECTOR

US Black Engineer and Information Technology, Vol. 47, No. 3 (2023), pp. 44-45

Read online

Save

Cite

JOURNAL ARTICLE

INDUSTRY OVERVIEW: THE ENERGY INFRASTRUCTURE SECTOR

Women of Color Magazine, Vol. 24, No. 2 (FALL 2024), pp. 70-71

Read online

Save

Cite

ITHAKA websites, which ITHAKA manages from its location in the United States, use cookies for different purposes.

Búsqueda de artículos

redalyc.org/busquedaArticuloFiltros.aa?q=energía,%20transmisión%2...

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

Búsqueda de artículos

energía, transmisión de energía, sustentabilidad, impacto ambiental, colombia

Resultados para "energía, transmisión de energía, sustentabilidad, impacto ambiental, colombia"

Artículos por página 10 1 a 10 de 2875 artículos >

Año: 2025 | 2024 | 2023 | 2022 | 2021 | Idioma: Español | Inglés | Disciplina: Administración y Contabilidad

EXPLORING SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIOS USING COLLECTIVE INTELLIGENCE AND SYSTEM DYNAMICS MODELLING: THE LITHIUM EXPLOITATION CASE
Ciencias Administrativas, 2025, (26)
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia 2 Ciencias Administrativas, , 2025, núm. 26, e165, July-December, / ISSN-E: 2314-3738 constructed... the Caribbean [ECLAC], 2023; García et al., 2020; Holzbecher, 2005; Izquierdo & Julieta Carilla, 2017; Liu & Agusdinata, 2021... comercial propiedad de la academia 6 Ciencias Administrativas, , 2025, núm. 26, e165, July-December, / ISSN-E: 2314-3738 Figure 2 Categorization
PDF

FROM USELESS TO VALUED. SOCIAL ENTERPRISES IN THE TIRE RECYCLING
Revista Pensamento Contemporâneo em Administração, 2025, 19(2)
found to characterize **Impact Businesses** (Alperstedt; Andon & Pres, 2024; Ranville & Barros, 2022; França Filho et al., 2020; Barki et al., 2020... ISSN 1982-2596 RPCA | Rio de Janeiro | v. 19 | n. 2 | abr. - jun. 2025 1 FROM USELESS TO VALUED. SOCIAL ENTERPRISES IN THE TIRE RECYCLING DE INSERVÍVEL AO PRESTADIO: NEGÓCIOS DE IMPACTO
Resumen:
VISOR PDF HTML MÓVIL ePUB XML JATS

STUDY OF THE MOTIVATION AND THE COMPETITIVENESS IN ARTISAN WORKSHOPS
Ciencias Administrativas, 2025, (26)
Mexican Republic; data collection was carried out in the period from March 29, 2022 to Dec 1 of 2023. The variables studied were measured on a five point Likert scale, where 1 = never; 2 = almost never; 3 = rarely; 4 = almost always and 5 = always. For the data analysis, a mathematical model was... comercial propiedad de la academia 2 Ciencias Administrativas, , 2025, núm. 26, e158, July-December, / ISSN-E: 2314-3738 Introduction The elaboration
Resumen:
VISOR PDF HTML MÓVIL ePUB XML JATS

Mapa Digital Cobertura Urbana

metadatos.icde.gov.co/geonetwork/srv/api/records/60ea72e7-a404-425c-95f1-d006f03a55e9

Metadatos ICDE Buscar Identifica

Mapa Digital Cobertura Urbana de Energía Eléctrica. República de Colombia. Años 2005 y 2012.

El Mapa Digital Cobertura Urbana de Energía Eléctrica, perteneciente al Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial – SIGOT, contiene información a nivel municipal referente al porcentaje de viviendas del área urbana que cuenta con el servicio de Energía Eléctrica, años 2005 y 2012. Información proporcionada por la Unidad de Planeación Minero Energética.

Fecha (Publicación)	2018-11-25T00:00:00		
Edición	1.0		
Fecha de edición	2018		
Parte responsable			
Nombre de la organización	Nombre individual	Email	Rol
Unidad de Planeación Minero Energética		notificaciones@upme.gov.co	Autor
Formulario de presentación	Mapa digital		
Propósito	Facilitar el acceso y uso de información georreferenciada, para una eficiente y oportuna toma de decisiones por parte de las autoridades e instancias en el sistema de planeación, a nivel nacional, regional y local, en el marco de los principios, objetivos y estrategias postuladas por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales – ICDE		
Crédito	No Documentado		
Estado	Terminado		
Mantenimiento y frecuencia de actualización	A discreción		
Tema	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de información geográfica 		

Overviews

Extensión espacial



Palabras clave

Cobertura Urbana | Energía Eléctrica
Ordenamiento Territorial | Planeación
Sistema de información geográfica

Provided by



Share on social sites

Optimal Power Flow in Electrica x +

No es seguro scielo.senescyt.gob.ec/s...

artículos búsqueda de artículos

sumario anterior próximo autor materia búsqueda home alfah

SciELO

Revista Técnica energía
versión On-line ISSN 2602-8492 versión impresa ISSN 1390-5074

Revista Técnica energía vol.21 no.2 Quito ene./jun. 2025
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n2.2025.697>

ARTÍCULO ACADÉMICO

Optimal Power Flow in Electrical Power Systems with Environmental Considerations

Flujo óptimo de Sistemas Eléctricos de Potencia con Consideraciones Ambientales

D.I. Lojano¹
<http://orcid.org/0009-0004-7289-7037>

J.P. Palacios²
<http://orcid.org/0000-0002-1448-9092>

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, E-mail: diego.lojano7427@utc.edu.ec
²Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, E-mail: juan.palacios6324@utc.edu.ec

Servicios Personalizados

Revista

SciELO Analytics

Artículo

Español (pdf)

Artículo en XML

Referencias del artículo

Como citar este artículo

SciELO Analytics

Traducción automática

Enviar artículo por email

Indicadores

Links relacionados

Compartir

Otros

Otros

Permalink

RESUMEN:

Los flujos óptimos de potencia se emplean en sistemas eléctricos para optimizar la distribución de energía eléctrica. En términos generales, se busca minimizar los costos asociados a la generación y distribución de energía eléctrica, mientras se cumplen con las restricciones operativas y de seguridad del sistema. Para lograr esto, se utilizan algoritmos matemáticos que permiten resolver el problema de encontrar el flujo de potencia óptimo, obteniéndose como resultado los flujos en cada línea de transmisión del sistema. Estos algoritmos tienen en cuenta diversos datos de entrada factores, como la demanda de energía, la capacidad de generación de las centrales eléctricas, las restricciones operativas de las líneas de transmisión y los costos asociados a la generación y distribución de energía eléctrica, y tienen como objetivo además buscar maximizar la eficiencia del sistema eléctrico, a través de la minimización de los costos y cumpliendo con las restricciones operativas y de seguridad del sistema. De esta manera en el presente trabajo de investigación se realiza una herramienta propia con programación en MATLAB que determina el flujo óptimo de potencia de un SEP y además considerando las restricciones del sistema, se ha tomado como referencia para el análisis el SEP de 14 barras de la IEEE en donde se obtiene su flujo óptimo de potencia y se analizan las restricciones tanto de emisiones como de costos de los combustibles abarcando de esta manera la optimización de potencia y considerando el tema ambiental.

transmisión de energía, sustentabilidad, ambiental, colombia

scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=transmisión+de+energía%2C+sustentabilidad%2C+ambiental%2C+colombia&btnG=

Google Académico

transmisión de energía, sustentabilidad, ambiental, colombia

Artículos

Aproximadamente 16.500 resultados (0,21 s)

Cualquier momento

Desde 2025

Desde 2024

Desde 2021

Intervalo específico...

Ordenar por relevancia

Ordenar por fecha

Cualquier idioma

Buscar solo páginas en español

Cualquier tipo

Artículos de revisión

Incluir patentes

Incluir citas

Crear alerta

Quizás quisiste decir: transmisión de energía, sustentabilidad, ambiental, colombia

Impactos ambientales de los parques eólicos y líneas de transmisión de energía sobre la biodiversidad de áreas protegidas del departamento de la Guajira-Colombia [PDF] upb.edu.co

L Garavito Tallez - 2020 - repository.upb.edu.co

... generación de energía eólica e impacto ambiental. a ... impactos ambientales -en la biodiversidad- que se forjarían por la generación de energía eólica (parques y líneas de transmisión ...

☆ Guardar Citar Citado por 6 Artículos relacionados Las 2 versiones

[PDF] TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA ESTRATEGIAS PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA COLOMBIANA [PDF] uamerica.edu.co

JEZ CORTES - 2024 - repository.uamerica.edu.co

... renovable), se propone la expansión y fortalecimiento de la red de transmisión eléctrica, ... reducir los costos de energía y reducir el impacto ambiental. Las organizaciones también ...

☆ Guardar Citar Citado por 6 Artículos relacionados

Transición energética en Colombia estrategias para la sostenibilidad energética colombiana [PDF] uamerica.edu.co

VA Osorio Florez, JE Zarate Cortes - 2024 - repository.uamerica.edu.co

... renovable), se propone la expansión y fortalecimiento de la red de transmisión eléctrica, ... reducir los costos de energía y reducir el impacto ambiental. Las organizaciones también ...

☆ Guardar Citar Citado por 6 Artículos relacionados

[HTML] Hacia una matriz energética sostenible en Colombia. Una revisión sistemática de la literatura [HTML] scielo.cl

D Cardona, JA Tamayo, JS Eslava-Garzón - Información tecnológica, 2024 - SciELO Chile

... de eficiencia energética, el uso de energías renovables y medidas de protección ambiental ... Al estar localizada cerca de áreas urbanas, reduce las pérdidas de transmisión y los costos ...

☆ Guardar Citar Citado por 5 Artículos relacionados Las 4 versiones

[PDF] Relación entre energía, medio ambiente y desarrollo económico a partir del análisis jurídico de las energías renovables en Colombia [PDF] redalyc.org

MJP Blanco - Saber, ciencia y libertad, 2015 - redalyc.org

... Así mismo, el presente artículo propone la redefinición de las competencias de las autoridades energéticas y ambientales frente a las energías renovables, pues se advierte el papel ...

☆ Guardar Citar Citado por 25 Artículos relacionados Las 10 versiones

Anexo H.

Matrices de Leopold

Matriz de Leopold – Escenario sin medidas de manejo

Tabla 19.

Acciones del proyecto × Factores ambientales (M/I; S)

Acciones \ Factores	Suelo	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Calidad del aire	Ruido	Flora	Fauna	Paisaje/visual	Uso del suelo	Socioeconómico	Cultural/arqueológico	Residuos	Tráfico	Clima/GEI
1. Apertura de vías de acceso	-6/7 (42)	-4/6 (24)	-3/5 (15)	-3/5 (15)	-4/6 (24)	-5/7 (35)	-4/6 (24)	-3/5 (15)	-5/7 (35)	+3/6 (18)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-3/5 (15)	-2/4 (8)
2. Desmonte y limpieza puntual	-5/7 (35)	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-6/8 (48)	-5/7 (35)	-3/6 (18)	-4/6 (24)	+2/4 (8)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-2/4 (8)
3. Excavación/cimentación de torres	-6/8 (48)	-3/6 (18)	-3/6 (18)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-4/6 (24)	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-3/6 (18)	+2/5 (10)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-2/4 (8)
4. Montaje de torres y izaje	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-3/5 (15)	-4/6 (24)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-3/6 (18)	-2/4 (8)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-1/3 (3)
5. Tendido de conductores	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-3/5 (15)	-4/6 (24)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-3/6 (18)	-1/3 (3)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-1/3 (3)
6. Zanjias tramo subterráneo (5 km)	-7/8 (56)	-4/7 (28)	-4/7 (28)	-3/5 (15)	-3/5 (15)	-5/7 (35)	-4/6 (24)	-2/4 (8)	-4/7 (28)	+2/4 (8)	-2/4 (8)	-4/6 (24)	-3/6 (18)	-2/5 (10)
7. Instalación cable XLPE 230 kV	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)
8. Construcción subestaciones GIS	-4/7 (28)	-3/5 (15)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-4/6 (24)	-3/6 (18)	-3/5 (15)	-3/6 (18)	-3/6 (18)	+3/6 (18)	-2/4 (8)	-3/5 (15)	-3/6 (18)	-2/4 (8)
9. Pruebas, energización y SCADA	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	+3/5 (15)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)
10. Operación y mantenimiento (O&M)	-3/6 (18)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-3/6 (18)	-3/6 (18)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	+4/7 (28)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	+2/4 (8)

Nota: acciones del proyecto. *Fuente:* autoría propia

Matriz de Leopold – Escenario residual con PMA aplicado

(Medidas: microtrazados, franjas de protección hídrica, revegetalización nativa, control de erosión, pasos de fauna, horarios de obra, gestión de residuos, plan de tráfico, monitoreo ambiental/ruido, SIG para exclusiones, compensación 1:10, protocolos SF₆, etc.)

Tabla 20.

Impactos residuales (M/I; S)

Acciones \ Factores	Suelo	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Calidad del aire	Ruido	Flora	Fauna	Paisaje/visual	Uso del suelo	Socioeconómico	Cultural/arqueológico	Residuos	Tráfico	Clima/GEI
1. Apertura de vías	-3/6 (18)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	+3/5 (15)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)
2. Desmonte puntual	-3/6 (18)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-3/6 (18)	-2/5 (10)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)
3. Cimentación torres	-3/7 (21)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/5 (10)	+2/5 (10)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)
4. Montaje de torres	-1/3 (3)	-1/3 (3)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	0/0 (0)
5. Tendido conductores	-1/3 (3)	-1/3 (3)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	+2/4 (8)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	0/0 (0)
6. Zanjas tramo subterráneo	-4/7 (28)	-2/5 (10)	-2/5 (10)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-3/6 (18)	-2/4 (8)	-1/3 (3)	-3/6 (18)	+2/4 (8)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	-1/3 (3)
7. Instalación cable XLPE	-1/3 (3)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	0/0 (0)	-1/3 (3)	+2/4 (8)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	0/0 (0)
8. Subestaciones GIS	-2/6 (12)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-2/5 (10)	+3/6 (18)	-1/3 (3)	-2/4 (8)	-2/4 (8)	-1/3 (3)
9. Pruebas/SCADA	0/0 (0)	0/0 (0)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	0/0 (0)	0/0 (0)	0/0 (0)	0/0 (0)	+3/5 (15)	0/0 (0)	0/0 (0)	-1/3 (3)	0/0 (0)
10. O&M (vegetación, servidumbres)	-2/5 (10)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	-2/5 (10)	-2/5 (10)	-1/3 (3)	-1/4 (4)	+4/7 (28)	0/0 (0)	-1/3 (3)	-1/3 (3)	+1/3 (3)

Nota: impactos residuales. *Fuente:* autoría propia

Anexo I.

Matriz de Análisis Multicriterio (AMC)

Tabla 21.

Matriz de evaluación multicriterio de alternativas para la expansión eléctrica en Acacías (Meta)

Criterio de evaluación	Definición operativa	Peso (%)	Alt. 1 Repotenciación 110 kV	Alt. 2 Nueva línea 230 kV	Alt. 3 mixto subterráneo- aéreo + GIS
Viabilidad técnica	Capacidad, confiabilidad, N-1, facilidad de integración	25	3 (75)	5 (125)	4 (100)
Impacto ambiental	Afectación a suelos/agua/biodiversidad, huella espacial	20	4 (80)	3 (60)	5 (100)
Viabilidad social / aceptación	Conflictos potenciales, armonía con POT, percepción	15	3 (45)	4 (60)	4 (60)
Económico (CAPEX + OPEX ciclo de vida)	Inversión, O&M, pérdidas técnicas	15	5 (75)	3 (45)	2 (30)
Tiempo de implementación	Plazo para entrar en operación	10	4 (40)	3 (30)	3 (30)
Riesgo regulatorio / licenciamiento	Trámites, servidumbres, permisos ambientales	10	4 (40)	3 (30)	4 (40)
Operación y mantenimiento	Accesibilidad, seguridad, digitalización/SCADA	5	3 (15)	4 (20)	5 (25)
Totales ponderados	Máximo posible = 500	100	370	370	385
Índice de desempeño global (1-5)	$(\text{Total}/500) \times 5$	—	3.70	3.70	3.85

Nota: Matriz de evaluación multicriterio. Fuente: autoría propia

Anexo J.

Modelo DPSIR aplicado

Tabla 22.

Modelo DPSIR

Categoría del modelo	Descripción general	Aplicación específica al caso de Acacías
Driving Forces (Fuerzas motrices)	Son los factores estructurales que impulsan las presiones sobre el medio ambiente y el territorio. Incluyen crecimiento poblacional, urbanización, desarrollo económico y demanda energética.	Crecimiento demográfico del municipio (3,8 % anual) y expansión urbana hacia el norte de Acacías. Incremento de actividades turísticas, agroindustriales y de servicios. Expansión de la frontera eléctrica y necesidad de reforzar la infraestructura energética regional. Políticas nacionales de transición energética (UPME 2022; Min Energía 2023).
Pressures (Presiones)	Actividades directas que ejercen impacto sobre los recursos naturales y los ecosistemas.	Construcción de torres, tendido de líneas y apertura de vías de acceso. Intervención temporal de suelos agrícolas y pastizales. Posible afectación de relictos de bosque seco tropical y cobertura vegetal. Emisiones, ruido y residuos durante la obra. Ocupación de pequeñas áreas de servidumbre eléctrica.
State (Estado)	Condición actual del medio ambiente, resultado de las presiones acumuladas.	Ecosistemas fragmentados y pérdida de conectividad ecológica en las cuencas de los ríos Acacías y Guayuriba. Alta sensibilidad del suelo por erosión y deforestación histórica. Cobertura eléctrica desigual: 98 % urbana, 60 % rural. Infraestructura eléctrica saturada y con pérdidas superiores al 12 %.
Impact (Impactos)	Efectos observables o potenciales sobre el ambiente, la economía y la sociedad.	Negativos: alteración temporal del paisaje, remoción de suelo, ruido, afectación puntual de hábitats. Positivos: mejora en la confiabilidad eléctrica, fortalecimiento de la capacidad instalada (230 kV), generación de empleo local y dinamización de la economía regional. Netos: reducción de pérdidas energéticas, menor emisión de GEI y mayor eficiencia operativa.
Response (Respuestas)	Medidas implementadas para mitigar, corregir o compensar los impactos, y fortalecer la sostenibilidad del proyecto.	Plan de Manejo Ambiental (PMA) con cinco programas: prevención, mitigación, compensación, control de emisiones y monitoreo. Compensación ecológica 1:10 (70 ha restauradas).

Uso de tecnología GIS y tramos subterráneos para reducir impactos visuales y espaciales.
Implementación de SIG para trazado y seguimiento ambiental.
Programa de participación comunitaria (PPC) y mesas de diálogo social.
Gobernanza interinstitucional (EMSA–ANLA–Alcaldía–Cormacarena).

Nota: Modelo DPSIR Fuente: Elaboración propia con base en el marco metodológico DPSIR de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 1999) y su adaptación a la planificación energética colombiana Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2022).

Anexo N.

Plan de Manejo Ambiental (PMA)

Tabla 23.

Matriz resumen del plan de manejo ambiental (PMA) – Proyecto “ampliación del sistema eléctrico la reforma – San Fernando”,

Acacias (Meta)

Impacto ambiental identificado	Tipo de medida (Prevención / Mitigación / Compensación / Monitoreo)	Medidas específicas propuestas	Indicadores de cumplimiento / seguimiento	Responsable de ejecución	Fase del proyecto	Costo estimado (COP millones)
Remoción de suelo y erosión por obras civiles	Prevención y mitigación	Control de erosión con zanjas, geotextiles, drenajes y revegetalización inmediata	% de área estabilizada (>90 %) / N° eventos erosivos (0 tolerados)	Contratista – Sup. Ambiental EMSA	Construcción	120
Afectación de fuentes hídricas superficiales	Prevención y mitigación	Protección de cauces con barreras naturales, franjas de exclusión 30 m, prohibición de vertimientos	Cumplimiento de franjas (100 %) / Calidad de agua dentro de norma	EMSA – Consultor Ambiental – ANLA	Construcción y operación	80
Pérdida de cobertura vegetal y hábitats	Mitigación y compensación	Aprovechamiento forestal controlado y reforestación 1:10 con especies nativas	Hectáreas restauradas (≥ 70) / % sobrevivencia vegetal (>85 %)	EMSA – Cormacarena – Contratista forestal	Construcción y postconstrucción	250
Alteración temporal de fauna silvestre	Mitigación	Rescate y reubicación de fauna / instalación de pasos de fauna / prohibición de caza	% de individuos reubicados exitosamente (>85 %) / N° incidentes (0)	Biólogo de campo – EMSA – Cormacarena	Construcción	60
Emisión de polvo, gases y ruido	Prevención y control	Riego de vías, mantenimiento de maquinaria, horarios diurnos, silenciadores	Niveles de ruido ≤ 70 dB / Opacidad vehicular <40 %	Contratista – Coordinador HSE	Construcción	40
Generación de residuos sólidos y peligrosos	Mitigación y control	Clasificación, almacenamiento temporal impermeabilizado,	% de residuos gestionados adecuadamente (>95 %)	EMSA – Gestor ambiental autorizado	Construcción y operación	90

Impacto ambiental identificado	Tipo de medida (Prevención / Mitigación / Compensación / Monitoreo)	Medidas específicas propuestas	Indicadores de cumplimiento / seguimiento	Responsable de ejecución	Fase del proyecto	Costo estimado (COP millones)
		disposición con gestores certificados				
Afectación paisajística y visual	Mitigación	Uso de torres autoportadas galvanizadas, revegetalización del entorno y microtrazado	% de áreas con restauración paisajística (>90 %)	EMSA – Interventoría ambiental	Construcción y postconstrucción	45
Riesgo de contaminación por SF ₆ y aceites dieléctricos	Prevención y control	Protocolos de mantenimiento y recuperación de gases, tanques de contención	N° fugas reportadas (0) / % cumplimiento RETIE (100 %)	EMSA – Operador SCADA	Operación	25
Conflictos sociales por uso del suelo y servidumbres	Mitigación y participación	Mesas de concertación, compensaciones y comunicación transparente	N° de conflictos activos (0) / N° reuniones participativas (>10)	EMSA – Alcaldía – Líderes veredales	Planeación y construcción	35
Deterioro del paisaje urbano en subestaciones	Mitigación	Diseño arquitectónico armonizado, barreras vegetales y señalización estética	% integración paisajística (>80 %)	EMSA – Diseñador ambiental	Construcción	20
Pérdida de conectividad ecológica	Compensación	Creación de corredor biológico Acacias–Guayuriba con monitoreo de fauna	Índice de conectividad +15 %	EMSA – ANLA – Cormacarena	Postconstrucción	100
Falta de conciencia ambiental del personal y comunidad	Prevención y educación	Talleres de formación ambiental, campañas educativas y boletines públicos	N° capacitaciones / mes (>2) / Nivel de satisfacción (>80 %)	Profesional social – EMSA	Permanente	15
Necesidad de seguimiento ambiental continuo	Monitoreo	Monitoreo trimestral de agua, aire, ruido, flora y fauna, SIG ambiental	N° informes entregados (100 %) / % cumplimiento PMA (>90 %)	EMSA – Consultor ambiental – ANLA	Permanente	50

Nota: Los costos son estimativos y deberán actualizarse según precios de mercado y condiciones de ejecución. Fuente: Elaboración propia con base en la Matriz de Leopold, el Modelo DPSIR y la normativa ambiental colombiana (Ley 99/1993; Decreto 1076/2015; Resoluciones 627/2006 y 1362/2007).

Anexo O.

Plan de participación comunitaria (PPC)

Proyecto: Ampliación del Sistema Eléctrico “La Reforma – San Fernando”

Municipio: Acacías (Meta)

Responsable: Electrificadora del Meta (EMSA) – Alcaldía de Acacías

Duración: 24 meses (fases de planificación, ejecución y seguimiento)

Objetivo general

Fortalecer la relación entre la empresa ejecutora, las instituciones públicas y las comunidades locales, garantizando información transparente, participación efectiva, diálogo permanente y corresponsabilidad social durante la ejecución del proyecto de ampliación eléctrica.

Objetivos específicos

Garantizar que la comunidad conozca el alcance, beneficios y medidas ambientales del proyecto.

Facilitar espacios de consulta y concertación sobre el trazado, compensaciones y medidas de mitigación.

Promover la participación y el control ciudadano mediante comités de seguimiento.

Prevenir conflictos socioambientales mediante un protocolo claro de atención de quejas y reclamos.

Contribuir al fortalecimiento del tejido social y la confianza institucional.

Tabla 24.*Población objetivo*

Grupo social	Ubicación / Veredas	Interés en el proyecto	Tipo de participación prevista
Comunidades rurales	La Reforma, Chichimene, San Nicolás, Alto Acacías	Afectación directa por servidumbres y obras civiles	Información, concertación y seguimiento
Juntas de Acción Comunal	Todas las veredas de influencia	Interlocución comunitaria y gestión de acuerdos	Consulta y vigilancia ciudadana
Alcaldía y Concejo Municipal	Cabecera municipal	Aprobación de permisos, articulación institucional	Coordinación interinstitucional
Organizaciones ambientales y ONGs locales	Veredas rurales y cabecera	Protección de ecosistemas sensibles	Participación técnica y veeduría
Centros educativos y asociaciones juveniles	Acacías urbano y rural	Formación y educación ambiental	Participación educativa y cultural

Nota: población objetivo. Fuente: autoría propia.

Estrategia general de participación

El PPC se desarrollará bajo un enfoque de **diálogo social progresivo** que se estructura en tres niveles:

- **Nivel informativo**

Divulgación clara y oportuna de los objetivos, beneficios, fases y medidas ambientales del proyecto.

Herramientas: carteleras en veredas, perifoneo, boletines, página web EMSA, redes sociales y transmisiones radiales comunitarias.

Productos esperados: boletines mensuales y 10 jornadas informativas presenciales.

- **Nivel consultivo**

Espacios presenciales de diálogo y validación donde las comunidades presentan sus preocupaciones y sugerencias.

Metodología: talleres participativos con técnicas de cartografía social, priorización de conflictos

y acuerdos territoriales.

Productos esperados: actas de concertación, mapa social de percepciones y compromisos veredales.

- **Nivel decisorio y de seguimiento**

Instalación de Mesas de Participación y Seguimiento Social (MPSS) conformadas por representantes comunitarios, EMSA, ANLA y la Alcaldía, encargadas de supervisar los compromisos sociales y ambientales.

Frecuencia: reuniones bimensuales durante ejecución y trimestrales en operación.

Tabla 25.

Cronograma de talleres y actividades comunitarias

Actividad / Taller	Objetivo	Mes	Lugar	Responsables
Taller 1 – Socialización inicial del proyecto	Informar objetivos, cronograma, trazado preliminar y medidas de manejo ambiental	1	Alcaldía de Acacías	EMSA – Alcaldía
Taller 2 – Diagnóstico social participativo	Identificar percepciones, expectativas y conflictos potenciales	2	Vereda La Reforma	EMSA – Líderes veredales
Taller 3 – Validación de micro trazados y servidumbres	Presentar ajustes técnicos y obtener retroalimentación	3	Veredas San Nicolás y Chichimene	EMSA – Cormacarena – Comunidades
Taller 4 – Educación ambiental y uso racional de energía	Sensibilizar sobre conservación y eficiencia energética	4	IED La Reforma	EMSA – Secretaría de Educación
Taller 5 – Compensaciones y empleo local	Definir mecanismos de contratación local y acuerdos de compensación	6	Alcaldía	EMSA – Alcaldía – Comité Comunitario
Taller 6 – Seguimiento del PMA y compromisos sociales	Evaluar cumplimiento de medidas ambientales y sociales	9	Salón comunal San Nicolás	EMSA – ANLA – MPSS
Taller 7 – Evaluación intermedia del proyecto	Medir percepción social y satisfacción comunitaria	12	Vereda Chichimene	EMSA – Universidad aliada
Taller 8 – Cierre y socialización de resultados	Presentar resultados técnicos, ambientales y sociales del proyecto	18	Alcaldía – Auditorio municipal	EMSA – MPSS – Alcaldía

Nota: Cronograma de talleres y actividades comunitarias. *Fuente:* autoría propia.

Protocolo de gestión de quejas, reclamos y sugerencias (PQR)

Principios

Accesibilidad: canales presenciales y digitales abiertos a toda la comunidad.

Transparencia: registro público y trazabilidad de cada caso.

Oportunidad: respuesta máxima en 15 días hábiles.

Respeto: trato digno y lenguaje claro en cada interacción.

Canales habilitados

Presencial: Oficinas del Centro de Información del Proyecto (CIP) en la Alcaldía de Acacías y puntos móviles en veredas.

Telefónico: Línea gratuita de atención EMSA (01-8000-915-222).

Virtual: Formulario en la página web institucional y correo: *pqr@emsa.gov.co*.

Físico: Buzones de sugerencias en subestaciones y salones comunales.

Flujo de atención PQR

Recepción: registro del caso con número consecutivo en el sistema PQR-SIG.

Clasificación: técnica, ambiental, social o administrativa.

Remisión: envío al área responsable (Ambiental, Social o Técnica).

Evaluación y respuesta: análisis y propuesta de solución en máximo 10 días hábiles.

Cierre: verificación de satisfacción del solicitante y archivo digital.

Reporte: presentación trimestral de estadísticas de PQR ante el Comité de

Participación.

Indicadores de gestión PQR

Tiempo promedio de respuesta: ≤ 10 días hábiles.

% de PQR resueltas satisfactoriamente: ≥ 95 %.

% de quejas reincidentes: < 5 %.

Nº de reuniones de retroalimentación comunitaria: ≥ 4 al año.

Responsables del Plan

EMSA: Coordinación general, ejecución del plan y manejo de PQR.

Alcaldía de Acacías: Apoyo logístico, espacios comunitarios y comunicación institucional.

Comité de Participación (MPSS): Seguimiento y control social.

ANLA y Cormacarena: Supervisión técnica y ambiental.

Evaluación y seguimiento

El PPC será evaluado semestralmente con base en tres indicadores clave:

Cobertura participativa: porcentaje de veredas vinculadas (> 80 %).

Percepción comunitaria positiva del proyecto: ≥ 85 % según encuestas.

Cumplimiento del cronograma de talleres: ≥ 90 % de actividades ejecutadas.

Los resultados serán socializados públicamente a través de informes participativos, reforzando la transparencia y la legitimidad del proceso.

Resultado esperado

Con la implementación de este plan, el proyecto logrará:

Reducción de conflictos territoriales y ambientales.

Fortalecimiento del tejido social y la confianza institucional.

Participación y corresponsable de las comunidades rurales.

Mayor legitimidad pública y sostenibilidad social del proyecto.

Anexo P. Plantilla de Consentimiento Informado

Título del proyecto

“Propuesta de expansión sostenible del sistema de transmisión eléctrica en el municipio de Acacías, Meta, horizonte 2030.”

Investigador responsable: Edinson F. Avellaneda (2025)

Maestría en Administración de Organizaciones – UNAD

Objetivo del estudio: Recoger opiniones y percepciones de actores locales sobre los posibles impactos sociales y ambientales del proyecto de transmisión eléctrica.

Participación: Su participación consiste en responder preguntas en entrevista o taller participativo. La duración estimada es de 20 a 30 minutos. No se requiere firma digital ni presencial de ningún documento adicional.

Riesgos y beneficios: No existen riesgos físicos ni económicos. Los beneficios son indirectos y consisten en aportar información útil para el diseño de estrategias de sostenibilidad local.

Confidencialidad: Los datos serán tratados de manera anónima y solo con fines académicos. No se publicarán nombres ni información que permita su identificación.

Consentimiento: Declaro haber leído y comprendido la información anterior y participo voluntariamente en el estudio.

Firma del participante: _____

Fecha: _____

Firma del investigador: _____

Anexo Q.*Anexo técnico sobre proyección y demanda en Acacias***Tabla 26.***Anexo técnico sobre proyección y demanda en Acacias*

Año	Demanda MWh	Población	PIB Millones COP	Predicción MWh	Error_%
2014	165200	67450	1852000	167000	-1,09
2015	171600	68600	1935000	170500	0,64
2016	179400	69800	2028000	180000	-0,33
2017	187300	71050	2104000	188500	-0,64
2018	195800	72300	2197000	197000	-0,61
2019	204500	73600	2293000	205000	-0,24
2020	213700	74950	2386000	215000	-0,61
2021	223200	76350	2485000	225000	-0,81
2022	232900	77750	2590000	235000	-0,9
2023	238700	80950	2735000	236500	0,92

Nota: Anexo técnico sobre proyección y demanda en Acacias. *Fuente:* autoría propia

Anexo R.

Scripts y resultados en Python

```

lsers\ehpa\OneDrive\Escritorio\PROYECCIÓN DE LA DEMADA\modelo_rmse_demanda.py - Notepad++
  Editar  Buscar  Vista  Codificación  Lenguaje  Configuración  Herramientas  Macro  Ejecutar  Corr
  [Iconos de herramientas]
  modelo_proyeccion.py  modelo_rmse_demanda.py
  def main(path_xlsx):
      # Leer los datos
      df = pd.read_excel(path_xlsx, sheet_name='Datos_Proyeccion')

      # Definir variables
      y = df['Demanda_MWh']
      X = df[['Poblacion', 'PIB_Millones_COP', 'Año']]
      X = sm.add_constant(X) # añade el intercepto ( $\beta_0$ )

      # Ajustar el modelo OLS
      model = sm.OLS(y, X).fit()
      df['Prediccion_OLS'] = model.predict(X)

      df['Prediccion_OLS'] = model.predict(X)

      # Calcular RMSE (error cuadrático medio)
      y_true = df['Demanda_MWh'].values
      y_pred = df['Prediccion_OLS'].values
      rmse = np.sqrt(np.mean((y_true - y_pred)**2))

      # Mostrar resultados
      print(model.summary())
      print(f"\nRMSE: {rmse:.2f} MWh")

      # Guardar archivo con resultados
      output_file = 'proyeccion_con_resultados_rmse.xlsx'
      df.to_excel(output_file, index=False)
      print(f"\nArchivo generado: {output_file}")

      print(f"\nArchivo generado: {output_file}")

  if __name__ == '__main__':
      if len(sys.argv) < 2:
          print("Uso: python modelo_rmse_demanda.py proyeccion_demanda_acacias.xlsx")
      else:
          main(sys.argv[1])
  e                                     long.: 1.450  lín.: 54                                     Lín.: 45  Col.: 56  Pos.: 1.186                                     Unix (LF)

```

```
PS C:\Users\ehpal\OneDrive\Escritorio\PROYECCIÓN DE LA DEMADA> python modelo_rmse_demanda.py proyeccion_demanda_acacias.xlsx
```

OLS Regression Results

```
=====
Dep. Variable: Demanda_MWh R-squared: 0.999
Model: OLS Adj. R-squared: 0.999
Method: Least Squares F-statistic: 2259.
Date: Mon, 06 Oct 2025 Prob (F-statistic): 1.51e-09
Time: 12:18:46 Log-Likelihood: -80.042
No. Observations: 10 AIC: 168.1
Df Residuals: 6 BIC: 169.3
Df Model: 3
Covariance Type: nonrobust
=====
```

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-6.442e+05	5.45e+06	-0.118	0.910	-1.4e+07	1.27e+07
Poblacion	-5.9421	1.956	-3.038	0.023	-10.729	-1.155
PIB_Millones_COP	0.1713	0.055	3.133	0.020	0.038	0.305
Año	442.7837	2699.485	0.164	0.875	-6162.617	7048.184

```
=====
Omnibus: 2.267 Durbin-Watson: 1.769
Prob(Omnibus): 0.322 Jarque-Bera (JB): 0.434
Skew: -0.473 Prob(JB): 0.805
Kurtosis: 3.386 Cond. No. 4.20e+10
=====
```

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

[2] The condition number is large, 4.2e+10. This might indicate that there are strong multicollinearity or other numerical problems.

RMSE: 724.34 MWh

Archivo generado: proyeccion_con_resultados_rmse.xlsx

```
PS C:\Users\ehpal\OneDrive\Escritorio\PROYECCIÓN DE LA DEMADA>
```