Diseñar una herramienta de gestión que permita formular estrategias de sostenibilidad corporativa aplicables a proyectos de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia

Jennie Paola Rocha Mesa

Henry Sierra Gómez

Universitaria Agustiniana – Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en gestión ambiental para el desarrollo sostenible

Bogotá

2026

Diseñar una herramienta de gestión que permita formular estrategias de sostenibilidad corporativa aplicables a proyectos de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia

Jennie Paola Rocha Mesa

Henry Sierra Gómez

Tutor, Laura Díaz Ospina

Trabajo para optar al título de

Especialista en gestión ambiental para el desarrollo sostenible

Universitaria Agustiniana – Uniagustiniana

Facultad de Ingeniería

Especialización en gestión ambiental para el desarrollo sostenible

Bogotá

2026

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema 7

1.1. Descripción del problema 9

1.2. Formulación del problema 10

2. Justificación 11

3. Objetivos 13

3.1. Objetivo general 13

3.2. Objetivos específicos 13

4. Marco Teórico 14

5. Diseño metodológico 16

5.1. Tipo de enfoque 16

5.2. Población 17

5.3. Muestra y técnica de muestreo 18

5.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 19

5.5. Cuadro del diseño metodológico 20

6. Desarrollo del estudio 22

7. Resultados y análisis de resultados 24

8. Propuesta de mejora 29

9. Conclusiones 31

Referencia bibliográfica 34

Anexos 35

Lista de Tablas

Tabla 1. Diseño metodológico 20

Lista de Figuras

Figura 1. Cuadro resumen resultados componente ambiental 25

Figura 2. Resultados gestión de residuos proyecto piloto..... 26

Figura 3. Resultados componente social proyecto piloto 28

Figura 4. Matriz de priorización de impactos y estrategias 28

Resumen (Abstract)

El presente documento, evalúa la integración de los criterios de sostenibilidad corporativa en el marco ambiental, social y de gobernanza (ESG), basado en los proyectos de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia desarrollados por Siemens Energy, tomando como caso de estudio el proyecto piloto de interconexión "Cuestecitas – Copey – Fundación 500/220 kV" en el que se analiza la transición operativa desde un enfoque tradicional del cumplimiento normativo hacia el modelo de mejora continua.

Por medio de una metodología mixta que tuvo en cuenta visitas de campo, revisión documental y el procesamiento de bases de datos (indicadores) para el año 2025, se diagnostican los impactos críticos de las actividades. Los resultados evidenciaron desafíos ambientales relevantes en el ciclo de vida del proyecto en cuando al consumo energético (195,169 kWh) y las emisiones de CO_2 (29,28 ton) por la demanda de combustible fósiles, y una importante generación de residuos de construcción y demolición (RCD) que representan cerca del 99% del total de los desechos generados. En el componente social, se identificó un enfoque reactivo ante las expectativas de la comunidad por la contratación social.

A partir de la priorización de los impactos (uso de matrices de impacto y esfuerzo), se plantea una propuesta de mejora consistente en el diseño de un manual técnico estructurado. De esta forma, esta herramienta de gestión estratégica optimiza las medidas de manejo sociales y ambientales, e impulsa buenas prácticas de economía circular y energías limpias en el sector eléctrico nacional.

Palabra clave: ***Sostenibilidad corporativa, Criterios ESG, Subestaciones eléctricas***

Abstract (resumen)

This document evaluates the integration of corporate sustainability criteria into the environmental, social and governance (ESG) framework, based on the construction and commissioning projects of electrical substations in Colombia developed by Siemens Energy, taking as a case study the pilot interconnection project "Cuestecitas – Copey – Fundación 500/220 kV" in which the operational transition from a traditional approach of regulatory compliance to the Continuous improvement model. Through a mixed methodology that considered field visits, documentary review and the processing of databases (indicators) for the year 2025, the critical impacts of the activities are diagnosed. The results showed relevant environmental challenges in the life cycle of the project in terms of energy consumption (195.169 kWh) and CO2 emissions (29.28 tons) due to the demand for fossil fuels, and a significant generation of construction and demolition waste (CDW) that represents about 99% of the total waste generated. In the social component, a reactive approach to the community's expectations for social contracting was identified. Based on the prioritization of impacts (use of impact and effort matrices), an improvement proposal is proposed consisting of the design of a structured technical manual. In this way, this strategic management tool optimizes social and environmental management measures and promotes good practices in the circular economy and clean energy in the national electricity sector.

Keyword: Corporate sustainability, ESG criteria, Electrical substations

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

La transición energética es una necesidad de Estado, y el sector eléctrico es fundamental en esta transición. Según el Plan de Expansión de Generación-Transmisión 2022-2036 (UPME, 2023) se contempla la entrada en operación de varios proyectos de subestaciones en el país, para integrar las fuentes de energía renovables no convencionales.

La construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia, se generaliza al suelo rural en zonas que tienen la necesidad de transformar o regular (elevar la tensión para su transporte a mayores distancias), y distribuir (o conectividad con nuevos usuarios) de una forma más segura y eficiente (protección del sistema contra fallas), la energía eléctrica producida., por lo que su ubicación específica se define a partir de la planeación de los proyectos. Para este entregable, se plantea que la herramienta de gestión se pueda aplicar en cualquier parte del territorio Nacional.

Según la UPME (2023), la infraestructura de transmisión de energía eléctrica debe crecer por lo menos en un 15% para el 2030, con el fin de apalancar y viabilizar la transición energética.

En el contexto actual del sector energético, las organizaciones que ejecutan proyectos de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas enfrentan el reto de integrar criterios de sostenibilidad corporativa en su ejecución, aunque existen indicadores ambientales, sociales y de gobernanza, estos frecuentemente no se encuentran articulados bajo un modelo integral que permita diagnosticar impactos, priorizar acciones y establecer estrategias estructuradas de mejora continua. Esta “brecha en la implementación” puede indicar que las empresas aplican criterios de sostenibilidad para cumplir con lineamientos normativos, y no de forma estratégica, originándose ineficiencias operativas y conflictos socioambientales que retrasan o inviabilizan los proyectos.

En la construcción de estas subestaciones, se evidencian entre otros impactos asociados, el consumo de recursos naturales, generación de residuos de construcción y demolición, emisiones de CO_2 derivadas del uso de combustibles fósiles, así como desafíos relacionados con inclusión laboral, contratación local y gestión del impacto comunitario. Esto genera la necesidad de diseñar un diagnóstico estructurado que permita identificar y priorizar estrategias de sostenibilidad aplicables a este tipo de proyectos.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo diseñar una herramienta de Gestión que permita identificar, formular y priorizar estrategias de sostenibilidad corporativa en las etapas de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia?

2. Justificación

En Colombia, diversos proyectos del sector energético, entre lo que se incluye la construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas, requieren fortalecer la sostenibilidad y su gobernanza (estructura y el relacionamiento interno) en sus operaciones. El desarrollo de estas actividades sin una adecuada gestión podría generar afectaciones importantes en los componentes ambiental, social y económico.

Las **afectaciones ambientales** se concentran mayoritariamente en la fase de adecuación y construcción de la obra, por la intervención directa de suelo, generando afectaciones a la calidad del aires (emisiones de material particulado y emisiones de gases de combustión, por el uso de maquinaria pesada y el transporte de personas e insumos), afectaciones al suelo y al agua (contaminación por derrames o fugas de aceites dieléctricos o combustibles, además pérdida de la biodiversidad y procesos erosivos por la remoción de la cobertura vegetal, emitiendo gases de efecto de invernadero (el uso de hexafluoruro de azufre es un potente gas de efecto de invernadero en el caso de que se presenten fugas), afectaciones al paisaje (alteración estética del entorno por la incorporación de elementos antrópicos como la infraestructura),

Las **afectaciones sociales** pueden generar conflictos con las comunidades del área de influencia, por aspectos como: presión sobre los servicios públicos (aumento temporal en la demanda de hospedaje y servicios, por la llegada de trabajadores foráneos), alteración en la movilidad (debido al aumento en el tráfico de vehículos para el transporte, vehículos pesados, y/o de gran tamaño), afectaciones a la salud y a la seguridad (el ruido puede generar molestias durante la construcción, y preocupaciones de la comunidad por efectos generados por la presencia campos electromagnéticos durante la operación), y expectativas laborales (conflictos si no se prioriza la mano de obra local).

En el **componente económico,** puede generar tensiones a corto plazo, pero generalmente tiene un impacto positivo a largo plazo, debido a variables como el aumento en la dinámica del comercio local (mejora la demanda de bienes y servicios), cambios en la valoración de los predios (valorización o desvaloración de los predios por servidumbre o nueva infraestructura), y estabilidad energética (beneficio global por la reducción de fallas en el sistema, apalancando el crecimiento industrial y/o comercial de la región). (UPME, 2026)

El diseño de una herramienta de gestión, a partir de las características propias de cada proyecto, permitirá formular e implementar estrategias de sostenibilidad corporativa adecuados que conlleven a beneficios estratégicos como eficiencia y reducción de costos, mitigar riesgos, mejorarla la reputación y la competitividad, impulsa procesos innovadores, entre otros.

3. Objetivos

3.1.Objetivo general

Proponer una herramienta de gestión, estructurada (manual técnico) para la identificación, formulación y priorización de estrategias de sostenibilidad corporativa en las etapas de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas en Colombia.

3.2.Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de aspectos e impactos ambientales, sociales, y de gobernanza (ESG), y del cumplimiento normativo, correspondientes a la construcción y puesta en marcha de las subestaciones eléctricas en Colombia.
- Analizar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de los aspectos e impactos diagnosticados, priorizándolos a partir de la matriz de impacto y esfuerzo.
- Formular estrategias de sostenibilidad corporativa, bajo los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG), que permitan la construcción del Manual técnico.

4. Marco Teórico

La presente propuesta se enmarca en 3 ejes o pilares: La gestión de los proyectos de infraestructura energética, el marco normativo ambiental que rige las actividades que se desarrollan, y muy relacionado con lo anterior, la sostenibilidad corporativa de la empresa.

- **La infraestructura de transición en la transición energética**. La transición energética no solo se enmarca en el cambio de las fuentes fósiles a fuentes renovables. Las subestaciones eléctricas son determinantes para integrar la energía producida por fuentes renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional. Según la UPME, la expansión de este tipo de infraestructura permitirá garantizar la seguridad energética y la descarbonización de la economía colombiana, según las metas hacia el 2030.
- **Instrumentos de gestión ambiental.** El marco regulatorio ambiental aplicable a proyectos de infraestructura eléctrica en Colombia se encuentra principalmente reglamentado mediante el Decreto 1076 de 2015, el cual compila las disposiciones normativas relacionadas con licenciamiento ambiental, permisos y gestión de impactos ambientales. La gestión y el seguimiento ambiental de este tipo de proyectos corresponden en este caso a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, por medio de los siguientes instrumentos o principios: Licencia ambiental, que autoriza la ejecución del proyecto sujeto al cumplimiento de las obligaciones normativas que aplican, pero también sujeto al cumplimiento de los lineamientos específicos que la autoridad establezca para el proyecto; el Plan de Manejo Ambiental o PMA, que contiene a detalle las estrategias orientadas, en este orden, en prevenir, mitigar, corregir, y por último compensar los impactos y efectos ambientales, priorizando la prevención y la mitigación, y como última opción la compensación.

- **Sostenibilidad corporativa.** Los criterios ESG (Environmental, Social and Governance) se han consolidado como marcos internacionales orientados a evaluar el desempeño sostenible de las organizaciones, integrando variables ambientales, sociales y de gobernanza dentro de la toma de decisiones corporativas (Global Reporting Initiative [GRI], 2021). Específicamente para los proyectos de infraestructura eléctrica, los procesos se realizan bajos criterios **ESG** (por sus siglas en ingles Environmental, social and Governance), donde la dimensión ambiental **(E)** se enfoca en la ecoeficiencia, el máximo aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición o RCD, y la reducción de la huella de carbono. La dimensión social **(S)** que adicional a los sistemas de seguridad y salud en el trabajo y la inclusión laboral, promueve o fortalece el relacionamiento con los actores claves o de interés, y la gestión del impacto comunitario; la dimensión de gobernanza **(G)** que acude a la ética y la transparencia en la contratación, y el fortalecimiento para el seguimiento al cumplimiento normativo.

  Adicional a estos. 3 pilares, la aplicabilidad de la sostenibilidad en los procesos requieren de un diagnóstico y estrategia de priorización coherente y responsable. Las matrices **Impacto / Esfuerzo** y de **Identificación y evaluación de impactos**, permiten a los interesados identificar los “puntos críticos” como la gestión de RCD en nuestro caso, con el fin de hacer foco en la dirección de los recursos técnicos y económicos de manea eficiente, para diseñar estrategias puntuales de gran impacto.

5. Diseño metodológico

El presente estudio se desarrolló con el propósito de diseñar una herramienta de gestión que permita estructurar estrategias de sostenibilidad corporativa en proyectos de subestaciones eléctricas, tomando como base un caso real en Colombia. Para ello, se integró información técnica, datos medibles del proyecto piloto correspondientes al año 2025, así como los lineamientos establecidos en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y la Licencia Ambiental del proyecto, garantizando que el análisis no solo sea teórico sino también aplicable al contexto normativo y operativo del sector eléctrico.

5.1.Tipo de enfoque

El estudio se abordó bajo un enfoque mixto, combinando análisis cualitativo y cuantitativo. Desde el **enfoque cualitativo** se realizó la interpretación de los impactos ambientales y sociales asociados a la construcción de subestaciones, considerando los programas establecidos en el PMA, los cuales incluyen medidas orientadas a prevenir, mitigar, corregir y compensar impactos en medios abiótico, biótico y socioeconómico.

En el **enfoque cuantitativo** se trabajó con información real de indicadores del proyecto piloto correspondientes al año 2025, tales como consumo de energía, generación de residuos y variables sociales, lo que permitió dimensionar los impactos de manera objetiva.

Por ejemplo, en el componente social se analizaron variables como contratación de mano de obra local, inclusión de población vulnerable y primer empleo, evidenciando que, aunque existen lineamientos en el PMA relacionados con programas de participación comunitaria y desarrollo socioeconómico, su aplicación en campo presenta oportunidades de mejora. De igual forma, en el

componente ambiental se evaluaron indicadores como consumo de energía y generación de residuos, alineándolos con programas del PMA como manejo de residuos, manejo del recurso hídrico y control de impactos sobre el suelo y aire.

5.2.Población

La población objeto de estudio corresponde al proyecto de construcción de subestaciones eléctricas “Interconexión Cuestecitas – Copey – Fundación 500/220 kV”, el cual cuenta con Licencia Ambiental otorgada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. Este proyecto contempla la construcción de cinco subestaciones eléctricas distribuidas así: dos ubicadas en Cuestecitas (La Guajira), dos en El Copey (Cesar) y una en Fundación (Magdalena), desarrollándose en zonas con presencia de comunidades y diferentes actores territoriales.

Dentro de la población analizada no solo se incluye el proyecto como unidad de estudio, sino también los actores que intervienen directa e indirectamente en su desarrollo. Teniendo en cuenta lo anterior, la población objeto de estudio específicamente por el desarrollo del proyecto se asocia a los colaboradores vinculados directamente con el proyecto, que se estima alrededor de 1,463 personas de mano de obra calificada propia del propia de la empresa que desarrollaría el proyecto, y mano de obra no calificada de origen local. Adicionalmente se contempla el relacionamiento y contratación de bienes y servicios en el territorio, como alimentación, alojamiento, insumos entre otros. Teniendo en cuenta lo anterior el proyecto genera impactos positivos como dinamismo de la economía e inclusión laboral.

En relación con el Entorno espacial, la población corresponde a comunidades aledañas al área de influencia que puede estas representada por las Juntas de Acción Comunal (JAC),

administraciones municipales, organizaciones ambientalistas, autoridades ambientales (CARs y ANLA) y demás asociaciones comunitarias o individuos con injerencia económica, en la demanda de los recursos o en la toma de toma de decisiones en la región.

Teniendo en cuenta la diversidad de actores y el impacto sobre el Entorno, el Plan de Manejo Ambiental deberá establecer o reforzar programas o específicos de manejo socioeconómico, relacionamiento social, participación comunitaria y educación ambiental.

5.3.Muestra y técnica de muestreo

La **muestra** corresponde a los datos que serán generados a partir de la técnica de muestro. A partir de estos datos generados, se construirá la información que será evaluada para la toma de decisiones. La **técnica de muestreo** corresponde al diagnóstico realizado a partir de las visitas a campo (inspección del desarrollo de las actividades, así como la identificación de actores claves) y la revisión documental de las actividades o procesos en la construcción y operación de las subestaciones eléctricas, así como la revisión de la documentación ambiental (Estudio de Impacto Ambiental EIA, Plan de Manejo Ambiental, resolución que otorga licencia ambiental).

Adicionalmente, se utilizaron instrumentos como listas de chequeo, matrices de identificación de aspectos e impactos socioambientales y bases de datos de indicadores, construidas a partir de la información del proyecto piloto. Estas herramientas permitieron organizar la información, clasificar los impactos y establecer relaciones entre las variables analizadas.

5.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo del estudio se hizo un diagnóstico a partir de la revisión documental, visita de campo y análisis de datos generados en estas dos líneas. La revisión documental incluyó el análisis del Estudio de Impacto Ambiental, el Plan de Manejo Ambiental elaborados para el proyecto (Gestión y Diseños Eléctricos S.A.S., 2021) y la resolución que otorga la Licencia Ambiental del proyecto, documentos que establecen las medidas, programas e indicadores que deben cumplirse durante la ejecución.

En particular, el PMA define un conjunto estructurado de programas ambientales que abarcan el manejo de residuos, control de emisiones, gestión del recurso hídrico, manejo de fauna y flora, así como programas sociales relacionados con participación comunitaria y educación ambiental.

A partir de la revisión realizada en el diagnóstico (visita de campo y revisión documental), se generan datos a partir de:

- Formulación previa y aplicación de listas de chequeo.
- Comparación de la matriz de identificación de evaluación de aspectos e impactos socioambientales, con la realidad en territorio (desarrollo de las operaciones y el contexto del Entorno en el que se desarrolla).
- Construcción base de datos de indicadores de demanda y uso de los recursos naturales, así como de indicadores estimados en la generación de emisiones, consumo de energía y emisión de residuos (según tipo aprovechables y no aprovechables).

5.5.Cuadro del diseño metodológico

El siguiente cuadro, sintetiza la metodología que permitirá el cumplimiento del objetivo general, indicando de manera general la actividad principal, basada en la técnica a utilizar y los instrumentos de apoyo o soporte, con el fin de formular un resultado esperado. De igual forma, el cuadro se plantea de manera secuencial, para que, de manera lógica, el diagnóstico realizado genere datos, los cuales a partir de un análisis técnico generará información clave que permita: identificar el estado del arte, el cumplimiento normativo, la generación y el análisis de indicadores (demanda y uso de recursos naturales, energía y generación de impactos). La información generada es analizada para priorizar estrategias e identificar potencial de optimización de procesos, lo cual permitirá formular nuevas estrategias y fortalecer las medidas existentes.

Tabla 1. Diseño metodológico

Objetivo específico	**Actividad**	**Técnica**	**Instrumento**	**Resultado esperado**
Identificación de aspectos	Diagnóstico de las actividades operativas en construcción y operación de las subestaciones eléctricas	Revisión documental Visita de campo	Diseños de ingeniería Lista que chequeo Registro fílmico y fotográfico	Identificación de aspectos generadores de impactos.
Identificar impactos	Revisión del PMA, Licencia Ambiental y actividades constructivas	Revisión documental Visita de campo	Lista de chequeo de cumplimiento ambiental basada en PMA (Anexo 1) Registro fílmico y fotográfico	Identificación de impactos socioambientales
Analizar impactos	Evaluación de indicadores 2025	Análisis de datos	Base de datos Excel de	Clasificación de impactos

Objetivo específico	Actividad	Técnica	Instrumento	Resultado esperado
			indicadores (Anexo 2)	
Validar cumplimiento normativo	Análisis del cumplimiento de requerimientos ambientales normativos y en licencia ambiental	Análisis comparativo y técnico normativo y ambiental	Instrumentos normativos Resolución que otorga licencia ambiental Medidas de manejo	Análisis de cumplimiento normativo
Reformulación de aspectos e impactos	Relación actividades vs entorno	Análisis técnico	Matriz de identificación de aspectos e impactos socioambientales (Anexo 3)	Relación causa–impacto
Priorizar impactos	Clasificación por nivel de impacto	Análisis comparativo	Matriz de priorización (Anexo 4)	Impactos críticos
Formular estrategias	Diseño de propuestas	Análisis cualitativo	Matriz estratégica (Anexo 5)	Estrategias definidas

6. Desarrollo del estudio

El desarrollo del estudio se alinea con el diseño metodológico planteado, el cual se estructura en 3 fases (Diagnósticos, Análisis y planeación, Formulación), que se describen a continuación:

- Fase 1. Diagnóstico: Esta fase tiene como alcance el cumplimiento de los objetivos Identificación de aspectos, Identificación de impactos, y Análisis de impactos. En esta fase se aplicó la técnica de revisión documental mediante el análisis detallado del estudio de impacto ambiental el plan de manejo ambiental y la resolución que otorga la licencia ambiental al proyecto. Por otro, se aplicó la técnica de visita en campo, Con el fin de identificar las actividades y los impactos que estás genera durante la construcción del proyecto. De manera complementaria, se utilizó la técnica de análisis técnico, mediante la construcción de una matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales, en la cual se relacionaron las actividades del proyecto (obra civil, montaje electromecánico y actividades administrativas) con los componentes del entorno (abiótico, biótico y socioeconómico). Esto permitió establecer relaciones causa–efecto y reconocer los impactos potenciales y reales del proyecto. Adicionalmente, se retomó la estructura de medición definida en el proyecto piloto, donde se identificaron los procesos a evaluar y los ámbitos de medición (ambiental, social y de seguridad y salud), tal como se evidencia en la planificación del diagnóstico.
- Fase 2. Planeación y análisis: Esta fase tiene como alcance el cumplimiento de los objetivos Reformulación de aspectos e impactos, y priorización de impactos. En esta fase se aplicó la técnica de análisis de datos, utilizando como instrumento la base de datos de indicadores

del año 2025, la cual contiene información cuantitativa sobre consumo de recursos, generación de residuos y variables sociales del proyecto. Los datos fueron organizados y procesados para identificar tendencias, magnitudes de impacto y desempeño del proyecto. Posteriormente, se aplicó un análisis comparativo, mediante una matriz de priorización de impactos, en la que se evaluaron criterios como magnitud, frecuencia, nivel de afectación y posibilidad de control. Teniendo en cuenta lo anterior, se clasifican tanto los aspectos como los impactos, según su criticidad, con el fin de priorizarlos en intervención.

- Fase 3. Formulación de estrategias: A partir de los análisis cuantitativos y cualitativos de los datos e información generada y analizada, y mediante el uso de matrices estratégicas, se formulan las estrategias de sostenibilidad con foco en los componentes ambiental, social y de gobernanza (ESG), fortaleciendo el Plan de Manejo Ambiental existente. Estas estrategias fueron diseñadas teniendo en cuenta la operatividad del proyecto, lo requerimientos ambientales, el potencial de optimización de los procesos operativos o las medidas de manejo, los actores involucrados, entre otros aspectos.

7. Resultados y análisis de resultados

Al analizar la gestión actual, queda claro que el proyecto funciona bajo una estructura organizada, pero con un priorización de ejecución de actividades en pro del cumplimiento netamente normativo y no se contempla una visión estratégica sostenible.

En el desarrollo del proyecto, se evidenció que, aunque existe un volumen considerable de indicadores y formatos de seguimiento, estos sirven más como un respaldo documental para la Licencia Ambiental y el PMA que como un motor de mejora continua o prevención de impactos en tiempo real.

Dentro de los impactos identificados, uno de los más representativos corresponde a las actividades asociadas con adecuación del terreno, movimiento de tierras y montaje electromecánico, debido al alto consumo de recursos y a la generación de residuos derivados del proceso constructivo. Estas actividades generan afectación ambiental considerable, especialmente sobre el suelo, el consumo energético y las emisiones asociadas al uso de maquinaria y transporte.

De acuerdo con la base de datos de indicadores del proyecto piloto (Datos proyecto piloto, 2025) en cuanto al componente energético, el proyecto generó un consumo de 195.169 kWh durante el periodo evaluado. Aunque este comportamiento resulta coherente con la magnitud y complejidad de las actividades desarrolladas, los resultados muestran un campo donde se deben centrar los mayores esfuerzos en implementación de estrategias de sostenibilidad enmarcadas en la prevención y en la mitigación. De manera similar, el consumo de combustibles fósiles generó emisiones aproximadas de 29,28 toneladas de CO_2, reflejando oportunidades de mejora relacionadas con eficiencia operativa, control de consumos y planificación logística.

El análisis permitió identificar que el impacto energético no depende únicamente de la cantidad de recursos utilizados, sino también de la manera en que son gestionados los procesos constructivos. Asimismo, se evidenciaron posibilidades de mejora mediante estrategias orientadas a planificar integralmente cada una de las actividades constructivas teniendo en cuenta la identificación de impactos, fortalecer controles de mantenimiento y evaluar el rediseño de tecnológico para la mitigación de impactos.

Respecto al recurso hídrico, se evidenció que el consumo de agua industrial se encuentra relacionado con actividades de control de material particulado, estabilización de vías y procesos propios de construcción (mezcla de concreto, limpieza de equipos). Aunque el proyecto cuenta con mecanismos básicos de seguimiento y control, no se evidenciaron estrategias consolidadas de reutilización o recirculación del recurso, lo que limita la gestión eficiente del recurso dentro de la operación.

Sub-ámbitos de medición	Indicador	FY25	Impacto
Ciclo de vida del producto	Consumo de agua (m3).	Agua potable 66 m3	(-) BAJO
		Agua Industrial 616 m3	(-) ALTO- se podrían llenar aproximadamente 27 piscinas pequeñas
	Consumo de combustibles m3	2876,51 gl- 10,88 m^3	(-) ALTO- Generamos 29,28 ton CO^2 al ambiente, necesitaríamos 1331 árboles absorbiendo durante un año para mitigar el impacto
	Consumo de materiales pétreos (m3)	2526 m^3	(-) BAJO
	Reutilización de residuos/ estrategia posconsumo	323 m^3	(+) BAJO
	Consumo de energía (kWh)	195.169 KW/h $168.481.591	(-) ALTO- Generamos 32,39 ton CO^2, esto equivale al consumo de 81 hogares durante un año
Incidentes y/o accidentes ambientales	Número de incidentes y/o accidentes ambientales contaminantes en proyecto (derrames, fugas, etc.)	0	(+)ALTO
Impacto de la biodiversidad	Cantidad por tipo de especies rescatadas y reubicadas	17	(+) ALTO Preservación de la Biodiversidad
Gestión ambiental	Número de incidentes de incumplimiento de la normativa ambiental.	0	(+)ALTO
	Multas o sanciones por infracciones ambientales.	0	(+) ALTO
Capacitación ambiental	Porcentaje de empleados que han recibido capacitación ambiental.	100%	(+) ALTO Generación de conciencia sostenible
	Número de horas de capacitación ambiental impartidas./empleado	11096 horas totales impartidas 38 horas por trabajador	(+) ALTO Generación de conciencia sostenible

Figura 1. Cuadro resumen resultados componente ambiental

Uno de los hallazgos más importantes del estudio estuvo relacionado con la generación de residuos de construcción y demolición (RCD). Los resultados obtenidos muestran que este tipo de residuos representa más del 99 % del total generado durante 2025. Esto demuestra que, por la dinámica del proyecto, posiblemente por la ubicación de este o por la premura de las actividades, se operó bajo una lógica tradicional basada en consumo y disposición final. Lo anterior permite identificar oportunidades importantes para fortalecer prácticas de aprovechamiento, reutilización y economía circular dentro del proyecto.

Tipo de residuo	% Generación	Costo de disposición FY25
RCD (excavación y/o escombros)	99,02%	$ 388.443.224,00
Aprovechables (reciclables)	0,03%	$ -
No aprovechables (basura-ordinarios)	0,075%	$ 3.271.619,40
Respel	0,0079%	$ 7.604.352,00
Especiales (madera)	0,80%	$ 8.769.600,00
Aguas residuales domésticas	100,00%	$ 79.549.805,31
TOTAL DISPOSICIÓN		$ 487.638.600,71

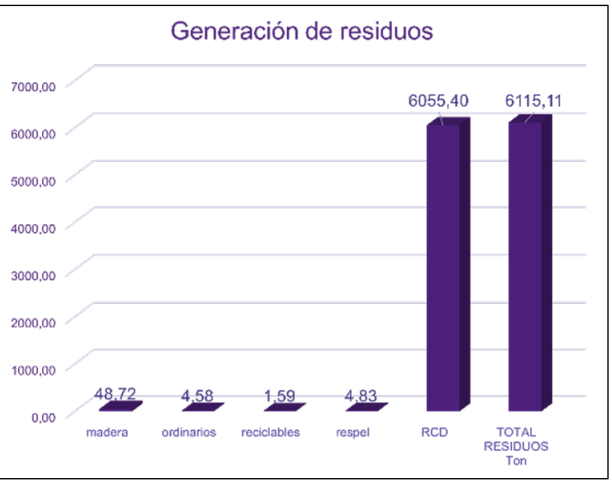


Figura 2. Resultados gestión de residuos proyecto piloto

Adicionalmente, el volumen de RCD generado implica impactos no solo ambientales, sino también económicos y operativos, debido a los costos asociados al transporte, manejo y disposición final de materiales. Por esta razón, la gestión de residuos se posiciona como uno de los puntos críticos para atacar en este tipo de proyectos.

En cuanto al componente social, los resultados muestran un panorama con avances importantes, aunque todavía con aspectos susceptibles de fortalecimiento. El proyecto aporta a la generación de empleo y dinamiza parcialmente la economía local; sin embargo, durante el análisis

se identificaron puntos a mejorar como inclusión laboral local, participación de población vulnerable y participación basada en género dentro de los procesos de contratación.

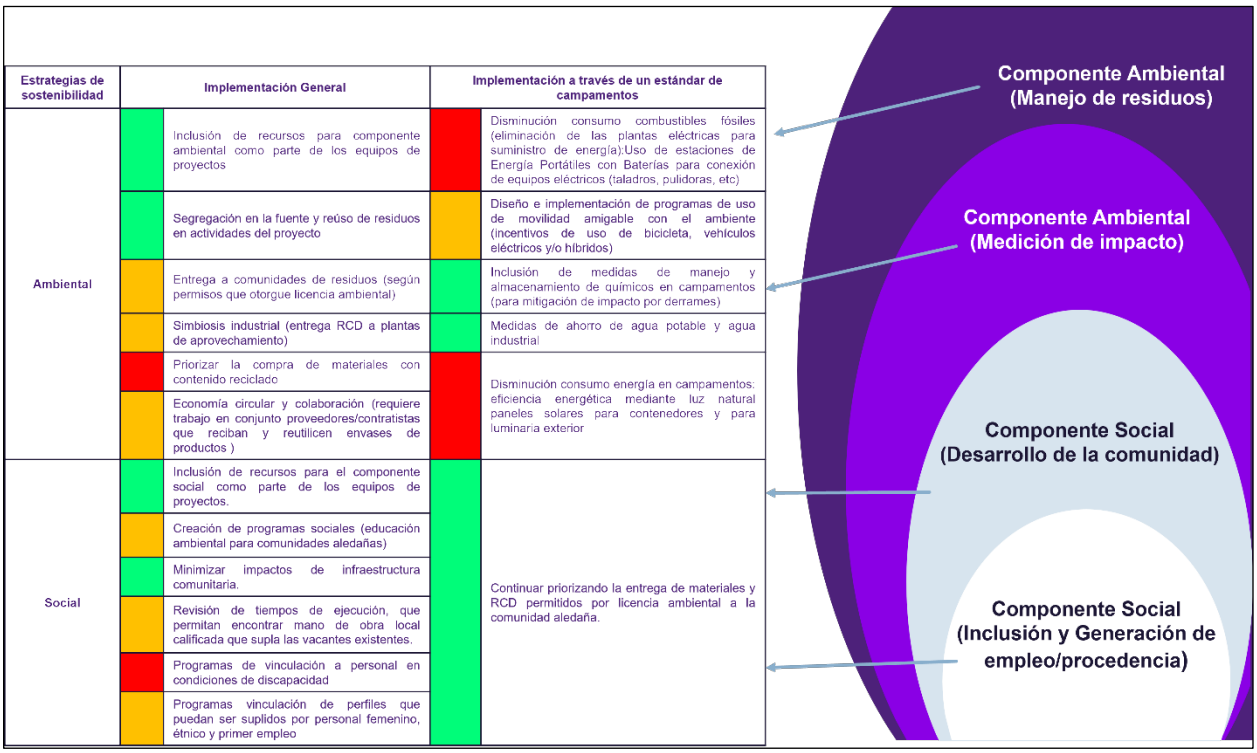
Asimismo, se evidenció una participación considerable de mano de obra foránea en algunas actividades de montaje electromecánico del proyecto. Si bien esta situación puede estar asociada a requerimientos técnicos particulares, también puede generar inconformidades en las comunidades del área de influencia, cuando las expectativas de inclusión de personal local al proyecto son mayores a las vacantes ofertadas. Adicionalmente, se identificó que la gestión social tiende a desarrollarse desde un enfoque reactivo, donde se busca atender requerimientos o situaciones puntuales, más que desde una estrategia preventiva de fortalecimiento territorial.



Sub-ámbitos de medición	Indicador	FY25
Desarrollo de las comunidades	Número de programas de desarrollo comunitario (salud, infraestructura).	0
	Número de beneficiarios de programas sociales.	0
Desarrollo de competencias en la comunidad	Número de actividades de capacitación en la comunidad	0
	Número de beneficiarios de actividades de capacitación	0
	Personas impactadas en la comunidad vs cantidad de trabajadores	0
Afectación de infrestructura en vias y viviendas aledañas por el proyecto	Número de vías y viviendas afectadas. Negativamente por la ejecución de proyecto	16 viviendas 1 jagüey 1 adecuación bordillos de vía
	Costo total de las reparaciones.	$20.800.000
Entrega de RCD y/o materiales	Número de beneficiarios de las entregas.	12 beneficiarios
Contratación de bienes y servicios locales	Porcentaje por tipo de proveedores locales contratados.	Total proveedores locales 48% $1.042.265.000.000

Figura 3. Resultados componente social proyecto piloto

Posteriormente, mediante la aplicación de la matriz de priorización, fue posible clasificar los impactos considerando variables como magnitud, frecuencia, nivel de afectación y posibilidad de control. A partir de este ejercicio se identificó que los impactos críticos del proyecto corresponden principalmente a la generación de residuos, el consumo energético, el uso de combustibles fósiles y las debilidades asociadas al componente social.



Estrategias de sostenibilidad	Implementación General	Implementación a través de un estándar de campamentos
Ambiental	Inclusión de recursos para componente ambiental como parte de los equipos de proyectos	Disminución consumo combustibles fósiles (eliminación de las plantas eléctricas para suministro de energía);Uso de estaciones de Energía Portátiles con Baterías para conexión de equipos eléctricos (taladros, pulidoras, etc)
	Segregación en la fuente y reúso de residuos en actividades del proyecto	Diseño e implementación de programas de uso de movilidad amigable con el ambiente (incentivos de uso de bicicleta, vehículos eléctricos y/o híbridos)
	Entrega a comunidades de residuos (según permisos que otorgue licencia ambiental)	Inclusión de medidas de manejo y almacenamiento de químicos en campamentos (para mitigación de impacto por derrames)
	Simbiosis industrial (entrega RCD a plantas de aprovechamiento)	Medidas de ahorro de agua potable y agua industrial
	Priorizar la compra de materiales con contenido reciclado	Disminución consumo energía en campamentos: eficiencia energética mediante luz natural paneles solares para contenedores y para luminaria exterior
	Economía circular y colaboración (requiere trabajo en conjunto proveedores/contratistas que reciban y reutilicen envases de productos)	
Social	Inclusión de recursos para el componente social como parte de los equipos de proyectos.	Continuar priorizando la entrega de materiales y RCD permitidos por licencia ambiental a la comunidad aledaña.
	Creación de programas sociales (educación ambiental para comunidades aledañas)	
	Minimizar impactos de infraestructura comunitaria.	
	Revisión de tiempos de ejecución, que permitan encontrar mano de obra local calificada que supla las vacantes existentes.	
	Programas de vinculación a personal en condiciones de discapacidad	
	Programas vinculación de perfiles que puedan ser suplidos por personal femenino, étnico y primer empleo	

Figura 4. Matriz de priorización de impactos y estrategias

En términos generales, el estudio permitió concluir que el proyecto dispone de información suficiente para gestionar sus impactos ambientales y sociales; sin embargo, aún existen oportunidades importantes para integrar dicha información dentro de procesos estratégicos de planificación y mejora continua.

Finalmente, los resultados evidencian que la sostenibilidad puede convertirse en una herramienta de gestión que puede fortalecer la operación del proyecto, reducir riesgos y mejorar el desempeño organizacional, siempre que los indicadores y medidas implementadas no solo busquen el cumplimiento normativo y se integren de manera efectiva en la toma de decisiones.

8. Propuesta de mejora

A partir de los resultados obtenidos, se propone un **manual técnico** como herramienta estructurada de gestión de sostenibilidad, para su aplicación en futuros proyectos de construcción y operación de subestaciones eléctricas en Colombia. Este manual tiene el alcance de identificar las actividades del proyecto, sus impactos y actores asociados, el cumplimiento normativo, el potencial de optimización, la formulación de estrategias de sostenibilidad específicas para cada proyecto, para su incorporación a futuro.

En primer lugar, el manual permite una identificación de las características constructivas y operativas del proyecto, diferenciando sus etapas (obra civil, montaje electromecánico, y actividades operativas). Estas etapas se formularán a partir de las actividades (aspectos ambientales), las cuales permitirán la identificación de los impactos ambientales y sociales, generando las relaciones causa y efecto, validando que cada una de estas relaciones, tenga una medida de manejo asociada.

Adicionalmente, el manual incorporará el análisis de indicadores asociados a: cumplimiento normativo (cuantificación de emisiones), cumplimiento y eficiencia de las medidas, demanda y uso de recursos naturales, generación de residuos por tipo (potencial de

aprovechamiento), consumo de energía, PQRS generadas y atendidas, y compromisos sociales, entre otros.

Posteriormente, se formularán y/o fortalecerán las medidas de manejo para cada impacto en el marco de la jerarquía de la mitigación (primero evitar o reducir, y como última opción la compensación), que garanticen el cumplimiento normativo, que generen buen relacionamiento con comunidades, que permitan identificar potencial de optimización de procesos (reducción en la demanda de recursos y en la generación de los residuos y emisiones), que viabilicen la implementación de buenas prácticas ambientales (energías limpias, economía circular), entre otros.

9. Conclusiones

El desarrollo del presente estudio permitió evidenciar que los proyectos de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas generan impactos ambientales y sociales relevantes, especialmente durante las etapas constructivas. Aunque estos impactos se encuentran identificados dentro de instrumentos como el Plan de Manejo Ambiental (PMA), el análisis realizado mostró que todavía existen oportunidades importantes para fortalecer la integración de la sostenibilidad dentro de la gestión operativa y estratégica de los proyectos.

A partir del análisis de indicadores correspondientes al año 2025, fue posible identificar impactos significativos como consumo energético, generación de residuos y uso de combustibles fósiles, basados en información real del proyecto piloto. Esto permitió reconocer que la información disponible no solo cumple una función de reporte, sino que también puede convertirse en un insumo relevante para la toma de decisiones y la optimización de procesos.

Uno de los aspectos más representativos identificados durante el estudio corresponde a la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), debido a que presentó el mayor porcentaje 99% del total de residuos generados. Esto demuestra la necesidad de fortalecer estrategias orientadas al aprovechamiento, reutilización de materiales y economía circular, especialmente en proyectos de infraestructura con altos volúmenes de intervención.

En el componente social, se evidenció que el proyecto aporta al desarrollo económico local mediante generación de empleo y contratación de bienes y servicios; sin embargo, también se identificaron oportunidades de mejora asociadas a inclusión laboral, fortalecimiento de contratación local y relacionamiento comunitario. Desde este componente se puede trabajar en procesos más preventivos y participativos, enfocados no solo en atender requerimientos puntuales, sino también en consolidar relaciones de confianza con las comunidades del área de influencia.

Entre otros, este proyecto permitió concluir que el PMA constituye una herramienta completa para la gestión de impactos; sin embargo, su efectividad depende de la capacidad de las organizaciones para integrar los programas, indicadores y medidas de manejo dentro de la operación diaria del proyecto. En varios casos se observó que la información recopilada se limita a darle cumplimiento a la licencia ambiental, sin aprovechar completamente su potencial para procesos de mejora continua.

Por todo lo anterior, se propuso como plan de mejora la formulación de un manual técnico de sostenibilidad que brindara estrategias puntuales para gestionar impactos, este manual que se plantea sería una herramienta orientada a organizar información, priorizar impactos y estructurar estrategias de sostenibilidad adaptables a proyectos de subestaciones eléctricas en Colombia. Además de facilitar procesos de seguimiento y control, esta propuesta puede contribuir al fortalecimiento de prácticas de gestión ambiental y social dentro del sector eléctrico.

Finalmente, se concluye que la sostenibilidad en proyectos de infraestructura energética no debería entenderse únicamente como un requisito normativo, sino como una oportunidad para optimizar procesos, reducir riesgos operativos y fortalecer la relación entre el proyecto y su entorno. Para lograrlo, resulta necesario que los indicadores y herramientas de gestión sean

utilizados de manera más estratégica, articulando la información técnica con procesos reales de planificación, seguimiento y toma de decisiones.

Referencias

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2023). *Plan de Expansión de Referencia Generación y Transmisión 2022-2036*. Ministerio de Minas y Energía. https://www.upme.gov.co

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA. (2022). *Resolución 00285 de 2022: Por la cual se otorga Licencia Ambiental al proyecto Interconexión Cuestecitas – Copey – Fundación 500/220 kV. https://www.anla.gov.co*

Gestión y Diseños Eléctricos S.A.S. (2021). *Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental del proyecto Interconexión Cuestecitas – Copey – Fundación 500/220 kV.*

Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ta ed.). McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153*

Siemens Energy. (2025). *Base de datos de indicadores de sostenibilidad del Proyecto COCU FY25 (Base de datos interna- archivo Excel).*

Anexos

Con el fin de soportar el desarrollo metodológico y los resultados obtenidos en el estudio, se incluyen los siguientes anexos:

- **Anexo 1. Lista de chequeo de cumplimiento ambiental (Excel)**
  Basada en los programas del Plan de Manejo Ambiental (PMA), incluyendo manejo de residuos, control de emisiones, manejo del recurso hídrico, protección de flora y fauna y programas sociales.
- **Anexo 2. Base de datos de indicadores (Excel)**
  Información correspondiente al año 2025 utilizada para el análisis de variables ambientales y sociales del proyecto piloto.
- **Anexo 3. Matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales (005155 MAIA COCU FY24-FY25- MAYO 2025)**
  Relación entre actividades del proyecto (obra civil, montaje electromecánico, etc.) y los impactos generados.
- **Anexo 4. Matriz de priorización de impactos y Matriz de estrategias de sostenibilidad (2025.09_ Proyecto Piloto Sostenibilidad ppt)**
  Clasificación de impactos según nivel de criticidad, magnitud e importancia, propuestas de mejora organizadas por tipo de impacto y etapa del proyecto.
- **Anexo 5. PMA y licencia ambiental proyecto COCU**