



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA**

Ing. Francisco Antonio Girón González
Asesorado por el PhD. Ing. José Antonio Rosal

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE
TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. FRANCISCO ANTONIO GIRÓN GONZÁLEZ
ASESORADO POR EL PHD. ING. JOSÉ ANTONIO ROSAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 27 de febrero de 2021.

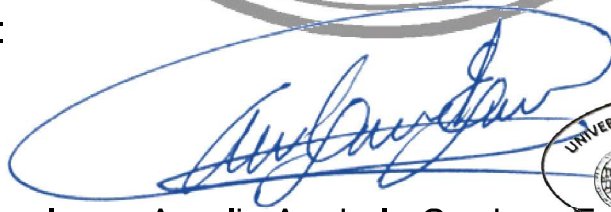
Ing. Francisco Antonio Girón González

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.426.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA**, presentado por: **Francisco Antonio Girón González**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, junio de 2022

LNG.EEP.OI.426.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA”

presentado por **Francisco Antonio Girón González** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 18 de octubre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA”** presentado por el Ingeniero **Francisco Antonio Girón González** quien se identifica con carné **202090492**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 13 de octubre de 2021.

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Francisco Antonio Girón González, Carné número 202090492, cuyo título es **"GUÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN EN GUATEMALA"**, para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Girón González, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



José Antonio Rosal Ph.D.
Doctor en Ciencias de la Investigación
Maestro en Energía y Ambiente
Ingeniero Químico Industrial
Colegiado 1837

Dr. José Antonio Rosal Chicas.

Asesor

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios que me brindó los conocimientos que me han forjado en esta nueva etapa profesional.

Facultad de Ingeniería

Por permitirme desarrollar mis actitudes técnicas y científicas que permitieron alcanzar mi meta.

Mi asesor

PhD. José Antonio Rosa Chicas, por su apoyo y por motivarme a terminar mis estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.2. Línea de transmisión eléctrica	4
1.3. Elementos de líneas de transmisión.....	5
1.3.1. Conductores	5
1.3.2. Aisladores	6
1.3.3. Soportes	7
1.4. Metodología de construcción de una línea de transmisión	10
1.4.1. Roce y despeje de franja de servidumbre	10
1.4.2. Replanteo topográfico.....	11
1.4.3. Excavaciones para fundiciones	12
1.4.4. Emplantillado	13
1.4.5. Instalación de estub	14
1.4.6. Montaje de estructuras	14
1.4.7. Tendido de conductores	14

1.4.8.	Puesta en servicio	15
1.5.	Evaluación de impactos ambientales	16
1.5.1.	Estudio de evaluación de impacto ambiental – EIA-	16
1.5.2.	Ciclo de los estudios de evaluación de impacto Ambiental en proyectos	17
1.5.3.	Contenido de una evaluación de impacto ambiental -EIA-.....	18
1.5.4.	Métodos matriciales de evaluación ambiental	19
1.5.5.	Matriz causa – efecto método de Leopold	20
1.6.	Descripción del método	20
1.7.	Desglose de factores ambientales	21
1.7.1.	Guía ambiental	22
1.8.	Definición de una guía ambiental	22
1.9.	Características de guías ambientales para Guatemala	23
1.9.1.	Fundamento jurídico, ambiental, forestal y eléctrico vigente	25
2.	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	27
2.1.	Metodología	27
3.	VALORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	39
4.	CARACTERIZACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN	41
5.	GENERALIDADES DE LA GUÍA AMBIENTAL	43
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.1.	Fundamento jurídico, ambiental, forestal y eléctrico vigente	45

6.2.	Síntesis de la evaluación de impactos ambientales	45
6.2.1.	Etapa de construcción	46
6.2.2.	Etapa de operación.....	47
6.2.3.	Etapa de cierre	48
6.3.	Medidas de mitigación a implementar por componente.	50
6.4.	Guía ambiental	55
6.4.1.	Objetivo	56
6.4.2.	Etapas en las que aplica.....	57
6.4.3.	Prácticas recomendadas para mitigar el impacto ...	57
6.4.4.	Erosión	57
6.4.5.	Contaminación del suelo	58
6.4.6.	Alteración del subsuelo.....	59
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS	71
	APÉNDICES	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Corte transversal de un aislador de vidrio.	6
2.	Esquema de torres metálicas utilizadas en alta tensión.....	10
3.	Distancia de despeje o roce por voltaje de línea de transmisión.....	11
4.	Flujograma de proceso, tendido y mantenimiento.....	55
5.	Flujograma etapa de cierre	56

TABLAS

I.	Aplicación del tipo de poste en función de la tensión de la red	8
II.	Cuadro resumen de actividades de estudios de evaluación de impacto ambiental	17
III.	Sección de matriz causa y efecto de Leopold	21
IV.	Legislación vigente relacionada con el estudio	25
V.	Variables ambientales	28
VI.	Actividades para desarrollar en cada etapa del proyecto.....	29
VII.	Matriz de Identificación de Impactos	32
VIII.	Escala de valoración de la intensidad	33
IX.	Escala de valoración de la extensión	34
X.	Escala de duración del impacto ambiental	35
XI.	Escala de reversibilidad del impacto ambiental.....	36
XII.	Escala de probabilidad de ocurrencia del potencial impacto ambiental.....	36
XIII.	Rangos de valoración e interpretación del VIA	38

XIV.	Matriz de valorización de los potenciales impactos identificados.	40
XV.	Plan de Gestión Ambiental (PGA).....	42
XVI.	Tabla XVI. Legislación específica relacionada con el estudio	45
XVII.	Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de construcción.....	46
XVIII.	Resumen de impactos valorados por componente etapa de construcción.....	46
XIX.	Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de operación	47
XX.	Resumen de impactos valorados por componente etapa de operación	48
XXI.	Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de cierre.....	49
XXII.	Resumen de impactos valorados por componente etapa de cierre	49
XXIII.	Resumen de Medidas de mitigación a implementar por componente...	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
D	Duración del impacto ambiental
E	Extensión del Impacto
M	Magnitud del impacto ambiental
km	Kilómetro
kv	Kilovoltio
mm	Milímetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales (moneda nacional)
V	Voltios o voltaje

GLOSARIO

Aisladores	Un aislante eléctrico es un material cuyas cargas eléctricas internas no pueden moverse causando una escasa magnitud de corriente bajo la influencia de un campo eléctrico.
Conductor	Un conductor es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica. Sus átomos se caracterizan por tener pocos electrones en su capa de valencia, por lo que no se necesita mucha energía para que estos salten de un átomo a otro.
EIA	Estudio de evaluación de impacto ambiental, documento técnico que se realiza para valorar los impactos ambientales de un proyecto o actividad sobre el medio ambiente.
Estub	También conocido como angulares, es un elemento estructural de diferentes medidas del cual una parte queda dentro de la cimentación de concreto y la otra presenta una conexión para la sujeción con la estructura, por medio de éste se transmiten las cargas de la torre a las cimentaciones.
Guía ambiental	Herramienta que tiene por objeto incorporar las buenas prácticas a las variables ambientales en la

planificación, desarrollo y evaluación de la gestión ambiental sectorial, como referente técnico mínimo aplicable al desarrollo de proyectos.

Impacto ambiental Es la alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente.

Listado taxativo Instrumento que permite al MARN, enumerar y categorizar los proyectos, obras, industrias o actividades como de alto, moderado y bajo impacto ambiental potencial.

MARN Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales institución que regula la gestión ambiental del país.

Matriz de valoración Herramienta que se utiliza para evaluar los potenciales impactos a los distintos factores ambientales identificados.

Medidas de mitigación Conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos.

PG Probabilidad del suceso.

PGA Estrategias para evitar, controlar, corregir, mitigar o compensar los potenciales impactos ambientales negativos que podrían resultar, directa o

indirectamente, durante la ejecución de las obras del proyecto.

Soportes

Estructuras diseñadas para sostener las líneas de transmisión de eléctricas y pueden estar elaboradas de distintos materiales como: metal, hormigón o madera.

VIA

Valor de índice ambiental, que es el resultado de la sumatoria de la valoración de las variables analizadas.

RESUMEN

La investigación realizada tuvo por objetivo el desarrollo de una guía ambiental, por lo que se inició con la identificación de los requisitos que se encuentran establecidos en la reglamentación ambiental guatemalteca y que deben ser cumplir para los proyectos de líneas de transporte o transmisión eléctricas de alta tensión, posteriormente a través de una matriz de doble entrada se identificaron los impactos ambientales más significativos que están relacionados con la implementación de este tipo de proyectos, así como las medidas de mitigación a implementar que permitan dar una viabilidad ambiental a este tipo de proyectos. Con la información obtenida se determinó que la mejor forma para dar cumplimiento con las normativas era por medio de la elaboración de la guía ambiental.

En el desarrollo de la presente investigación se realizó la recopilación de la información para la evolución de los impactos ambientales, con el fin de determinar las principales medidas de mitigación para factores atmosféricos, hídricos, edáficos, fauna, floras, social, económico y cultural, luego de la identificación de los impactos fue realizada la caracterización de las actividades relacionadas con este tipo de proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión. Después de haber caracterizado e identificado los factores ambientales se procedió a evaluarlos dentro de una matriz de doble entrada. La técnica utilizada para evaluar los impactos potenciales identificados incluye la elaboración de indicadores de impacto ambiental para cada impacto identificado en la matriz.

Con la realización de la caracterización de los impactos fue posible la identificación de la fuente generadora del impacto, las medidas ambientales establecidas para el impacto caracterizado, la regulación ambiental relacionada al impacto, la fase del proyecto en la que hay que ejecutar la medida de mitigación, el costo aproximado de la medida de mitigación, responsable de la aplicación de las medidas de mitigación, el indicador de desempeño y la síntesis del compromiso ambiental las principales medidas de mitigación para cada uno de los impactos.

Posteriormente a realizar todas las evaluaciones y contar con los valores de los índices ambientales se procedió a sistematizar en la guía ambiental para la construcción, operación y mantenimiento, de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, los impactos ambientales más significativos al momento de la construcción, operación y mantenimiento de un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión, siendo los principales factores ambientales identificados: factores atmosféricos, hídricos, edáficos, flora, fauna, social, económico y culturales. Se establecieron las principales medidas de mitigación a los impactos identificados para los factores ambientales, tomando como premisa que las mismas respondan de una manera efectiva a la restitución de las afectaciones, las cuales se aglutinan en una serie de planes de gestión ambiental que conforman la guía.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, Guatemala carece de una guía ambiental que estandarice los impactos ambientales ocasionados por los proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, así como de las medidas de mitigación aplicables y acordes para cada etapa de construcción y operación del tipo de proyectos antes mencionados.

Las guías son instrumentos creados y publicados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- regulados en el Acuerdo Gubernativo Número 137-2016, Guías ambientales; consideradas, como una herramienta cuyo objeto es la incorporación de prácticas a la variación ambiental que surge de planificar, desarrollar y dar seguimiento de la gestión ambiental para sectores específicos, y que contienen la mínima información técnica para proyectos.

La Constitución Política de Guatemala de República de Guatemala en su Artículo 129 regula, la electrificación. Se declara de urgencia nacional, la electrificación del país, con base en planes formulados por el Estado y las municipalidades, en la cual podrá participar la iniciativa privada. Así mismo el Decreto 93-96 (1996), *Ley General de Electricidad*, del Congreso de la República de Guatemala, en sus considerandos consigna que debido a que el Gobierno no cuenta con los recursos económico-financieros, para una empresa de tal envergadura, lo que hace necesaria la participación de inversionistas que apoyen la creación de las empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica y optimicen el crecimiento del subsector eléctrico.

Sin embargo, no se cuenta con una regulación específica emitida por el MARN la cual permita la evaluación objetiva, no dejando a discrecionalidad de los elaboradores de instrumentos ambientales, evaluadores y encargados del control y seguimiento de estos.

Existe diversidad en los criterios de control y seguimiento implementados por el mismo Ministerio, falta de homologación en la evaluación de impactos ambientales relacionados a los procesos de construcción y operación de los proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, así como también unificación de las medidas de mitigación mínimas para proyectos antes descritos. Es evidente entonces, la falta de regulación de las guías ambientales en el tipo de proyectos antes descritos. No se cuenta con estándares de evaluación claramente definidos.

El principal efecto de esta ausencia de estándares en la evaluación ambiental, son los plazos excesivos y retardados para la aprobación de instrumentos ambientales, a pesar de estar regulados en los artículos 23, 24, 25 y 26 del Acuerdo Gubernativo Número 137-2016. Los mismos no son respetados y no se cumplen, generando retrasos en la ejecución de los proyectos públicos o privados de inversión, catalogando al Guatemala como un país poco atractivo a las inversiones tanto nacionales como extranjeras en el sector, produciendo un riesgo en la prestación de servicio de energía en el país, considerado como uno básico.

De lo anterior se denota la necesidad de crear y regular una herramienta ambiental que venga a reducir las brechas antes mencionadas y homologue los criterios descritos, que al ser implementados ante el MARN permita mayor eficiencia y cumplimiento de los plazos, con relación a la determinación evolución

y mitigación de impactos ambientales de manera consensuada con las partes interesadas.

- Esto lleva a plantear la siguiente pregunta principal:

¿Cómo se puede elaborar una guía para la evaluación ambiental de proyectos de transmisión de alta tensión?

- Para contestar esta pregunta, se debe dar respuesta a las siguientes preguntas auxiliares:
 - ¿Cuáles son los requisitos establecidos en la legislación ambiental que debe cumplir un proyecto de transmisión de alta tensión?
 - ¿Cuáles son los impactos ambientales más significativos relacionados con la implementación de estos proyectos?
 - ¿Qué medidas de mitigación permiten hacer viables ambientalmente los proyectos de transmisión de alta tensión en Guatemala?
 - ¿Cuál será la mejor forma de redactar una guía ambiental, que los desarrolladores de proyectos de transmisión pueda seguir para cumplir con las normativas?

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía para la evaluación ambiental de proyectos de transmisión de alta tensión.

Específicos

- Identificar los requisitos establecidos en la legislación ambiental que debe cumplir un proyecto de transmisión de alta tensión.
- Determinar los impactos ambientales más significativos relacionados con la implementación de estos proyectos.
- Establecer qué medidas de mitigación permiten hacer viables ambientalmente los proyectos de transmisión de alta tensión en Guatemala.
- Definir una guía ambiental, que los desarrolladores de proyectos de transmisión puedan seguir para cumplir con las normativas.

HIPÓTESIS

El estudio es de tipo cuantitativo-descriptivo, por lo tanto, no se planten hipótesis de investigación.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. En el cual se desarrolló una herramienta que homologue la evaluación ambiental asociada con la construcción de infraestructuras de líneas de transmisión de alto voltaje. Así como establecer las acciones concretas y precisas que coadyuven al mejoramiento de la gestión pública y empresarial, y al control y reducción de los impactos sobre el ambiente.

Fueron definidas las variables ambientales a evaluar para esta guía, siendo estas: edáficas, hídricas, atmosféricas, fauna, flora y sociales. Luego de tener definidas estas variables se procedió a realizar la exploración bibliográfica la cual dio como resultado la forma de evaluar los impactos ambientales por medio de una matriz de causa y efecto o de doble entrada, también se realizó una revisión bibliográfica de las actividades que mitiguen los impactos identificados, su control y seguimiento.

Luego de contar con este contexto bibliográfico se procedió a realizar la valoración de impactos ambientales dentro de la matriz de causa y efecto en la cual se valoró la importancia para cada impacto ambiental evaluado, identificando su valor de índice ambiental -VIA-, las variables utilizadas fueron: reversibilidad del impacto ambiental, extensión del impacto ambiental, duración del impacto ambiental, probabilidad de ocurrencia del potencial impacto ambiental y la intensidad del impacto ambiental.

Posterior a la valoración de los impactos ambientales se procedió a realizar la integración de las medidas de mitigación evaluando y considerando de qué

manera se podría mitigar el impacto ambiental causado, también se realizó establecimiento de los planes de gestión ambiental, para que en su conjunto los mismos puedan servir como guía para la evaluación ambiental de proyectos de líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se carece de guías o lineamientos ambientales que identifiquen los impactos de los proyectos de líneas de transmisión de alta tensión. Tampoco se cuenta con medidas de mitigación aplicables para cada etapa de construcción y operación de diversos proyectos de alta tensión, abriendo la puerta a la discrecionalidad de los elaboradores de instrumentos ambientales, evaluadores y encargados del control, lo que genera retrasos en la ejecución de los proyectos públicos o privados de inversión. Esto sitúa a Guatemala como un país poco atractivo a las inversiones tanto nacionales como extranjeras en el sector, produciendo un riesgo en la prestación de servicio de energía en el país, considerado como un servicio básico.

La investigación planteada tuvo como finalidad contar con una herramienta que homologue la evaluación ambiental asociada con la construcción de infraestructuras de líneas de transmisión de alto voltaje. Así como, establecer las acciones concretas y precisas que coadyuven al mejoramiento de la gestión pública y empresarial, y al control y reducción de los impactos sobre el ambiente.

Como producto de la investigación se obtuvo un documento técnico, por medio del cual se facilitó la elaboración de una guía ambiental para el sector eléctrico específicamente para subsector de transporte de energía por líneas de alta tensión en el país; contribuyendo, a procesos de evaluación, control y seguimiento ambiental más acertado y eficientes, y la promoción de la protección y gestión integral del capital natural.

Para la realización del estudio, se tuvo una fase inicial de recolección de datos, para conocer la situación actual de la gestión de instrumentos ambientales relacionados con las líneas de transmisión de alta tensión. Posteriormente se identificaron por medio de una matriz de doble entrada para los impactos generados por esta actividad y para cada uno de los factores ambientales como lo son factores atmosféricos, hídricos, edáficos, fauna, flora, social, económico y cultural.

Luego se establecieron las medidas de mitigación, las cuales al final fueron los insumos principales para la integración de la guía ambiental bajo los términos de referencia estipulados en el Acuerdo Ministerial No. 349-2017, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

En el capítulo 1, se presentarán los antecedentes más importantes para esta investigación. En el capítulo 2, se hará una recopilación de la información para la evolución de los impactos ambientales con el fin de determinar las principales medidas de mitigación que sirvan para guía para el control y seguimiento ambiental. En el capítulo 3 y 4, se procede a la valorización de los impactos y la caracterización de las medidas de mitigación y en el capítulo 5, se describen las generalidades de una guía ambiental y su desarrollo. En los capítulos 6 y 7, se hace la presentación de los resultados y la discusión de estos y finalmente se dan las conclusiones de la investigación y las recomendaciones consideradas.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

Guatemala no cuenta con estudios publicados al respecto a guías para la evaluación ambiental en el sector eléctrico. Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, ente rector en temas ambientales en el país, cuenta con términos de referencia genéricos para la elaboración de guías ambientales los cuales se deben adaptar para cada proceso o industria según aplique. El Acuerdo Ministerial No. 349-2017 (2017), hace mención que aprobar el Manual de procedimientos para la presentación y aprobación de guías ambientales de la Dirección de Gestión Ambiental y Recursos Naturales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

En otros países y en instituciones internacionales se han encontrado algunos casos de estudio, relacionados con la formulación de guías ambientales para proyectos similares a los que se ejecutan en Guatemala.

En una publicación de Ministerio de Ambiente (2017) titulado *Términos de referencia estándar para estudio de impacto ambiental generación, transmisión y distribución de energía eléctrica*, se destaca la importancia de contar con términos de referencia (TDR), en los cuales se determine el contenido, el alcance, la focalización, los métodos y las técnicas a aplicarse en la elaboración de los estudios ambientales, y donde se establecen los lineamientos e instrucciones en cuanto a la profundidad y nivel de detalle para elaborar dicho estudio.

Continúa estableciendo que deberán presentarse para su aprobación para los proyectos para actividades como lo pueden ser, la generación de energía hidroeléctrica, la generación de energía termoeléctrica, generación de energía eólica, generación de energía fotovoltaica generación de energía geotérmica, como líneas de transmisión y líneas de distribución. En resumen, se definen los diferentes factores ambientales que permiten la evaluación, identificación, mitigación, control y monitoreo de los impactos identificados de los proyectos mencionados.

Un documento interesante para el tema es la publicación del Ministerio de Energía (2016), titulado *Documento de orientación sobre la gestión de impactos paisajísticos de proyectos de líneas de transmisión eléctrica y sus subestaciones en el marco del SEIA, en consideración de la Guía de valor paisajístico en el SEIA, SEA 2013*. Dicho documento, es una guía, el propósito es establecer una herramienta que ayude a determinar y gestionar el impacto en el paisaje del proyecto de la línea de transmisión y su subestación dentro de lo descrito por SEIA.

El documento se basa en el caso teórico de un sistema de transmisión eléctrica, describe el área de impacto del proyecto, determina el valor del paisaje y la calidad visual de cada unidad. Posteriormente, determina el tipo de entorno, y si se cumplieron los requisitos identificados en el marco legal vigente. Para luego determinar los principales impactos en el paisaje y cómo pueden obstaculizar la visibilidad del área, así como la manera que pueden cambiar los atributos de las áreas con valor paisajístico.

En la publicación colombiana titulada *Guía de impacto ambiental para infraestructuras de líneas de transmisión de alta tensión*, de Rodríguez (2016), describe una guía de impacto ambiental que tiene como objeto mostrar los

métodos, estudios y los costos ambientales asociados con la construcción de grandes infraestructuras de líneas de transmisión de alto voltaje existentes para reducir el nivel de contaminación causada por la construcción, operaciones y actividades de construcción y mantenimiento, en el campo del sector eléctrico colombiano, así como proponer la reducción del riesgo de eventos ambientales y la optimización y el uso racional de los recursos naturales que pueden mejorar o mantener en gran medida la competitividad del sector eléctrico colombiano en el país o región así como a nivel internacional.

De lo anterior resultan términos de referencia consensuados con las autoridades relacionadas y sectores interesados, así como ajustar los estudios de impacto ambiental para las diferentes actividades llevadas a cabo por el departamento de electricidad de Colombia, y apoyar la planificación, ejecución y monitoreo de proyectos de transmisión.

En la publicación del Banco Interamericano de Desarrollo (2015) titulada *Guía de buenas prácticas para líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica para hábitats naturales críticos*. Se describen una serie de buenas prácticas para desarrollar proyectos relacionados con la construcción, operación, mantenimiento y demolición de líneas de transmisión que se encuentran en hábitats naturales críticos o bien en sus alrededores.

Dicha publicación recomienda considerar cada etapa del desarrollo de los proyectos de líneas de transmisión y distribución, dividiéndola de la siguiente forma: anteproyecto, planificación, diseño, construcción, operación y demolición. Por lo tanto, puede proporcionar a la industria un conjunto de pautas estructuradas destinadas a evitar, minimizar y compensar el impacto (directa o indirectamente) en hábitats naturales críticos, así como en cada fase del proyecto de la línea de transmisión.

La creación y regulación de una guía de buenas prácticas ambientales y planes, para la transmisión de energía en nuevos proyectos y en proyectos existentes o en curso, destinados a mejorar el desempeño ambiental, social y de seguridad laboral se consideran en estas buenas prácticas. El uso de la guía y la implementación de las buenas prácticas contenidas en ella deben adaptarse a la particularidad de cada proyecto y al proceso de evaluación ambiental que el proyecto debe implementar para cumplir con los requisitos y especificaciones técnicas específicas.

1.2. Línea de transmisión eléctrica

Una línea de transmisión eléctrica es una parte fundamental del sistema de energía y las mismas son las responsables de transferir la energía eléctrica desde el lugar donde se genera la energía hasta otro donde se puede consumir, distribuir, repotenciar o se bajar de voltaje. Como su nombre lo indica, las líneas de transmisión son estructuras que pueden transmitir grandes cantidades de energía eléctrica en diferentes puntos de la red que conforman el sistema energético (González-Longatt, 2016).

También son los elementos más simples, pero los más extensos de los sistemas eléctricos. La clasificación de estas se puede llevar a cabo desde ángulos muy diferentes, dependiendo del medio: aéreo y subterráneo. El sistema de transmisión se puede clasificar según el nivel de voltaje transmitido por el módulo de alta potencia. La línea de transmisión aérea se divide en tres niveles de voltaje de 115 kV, 230 kV, 400 kV y 765 kV (González-Longatt, 2016).

1.3. Elementos de líneas de transmisión

Una línea de transmisión está constituida básicamente por tres elementos: conductores, aisladores y soportes.

1.3.1. Conductores

El conductor es el elemento responsable de la transmisión de energía desde los diversos puntos de un sistema, los conductores son de metal casi desnudos que se utilizan en líneas de alta tensión, se obtienen mediante el cableado de cables metálicos (cables) alrededor de un cable central. Tienen la cualidad de que son de una alta resistencia a las condiciones atmosféricas (Quezada, 2005).

Se puede básicamente decir que hay tres características para tener en cuenta al elegir un conductor:

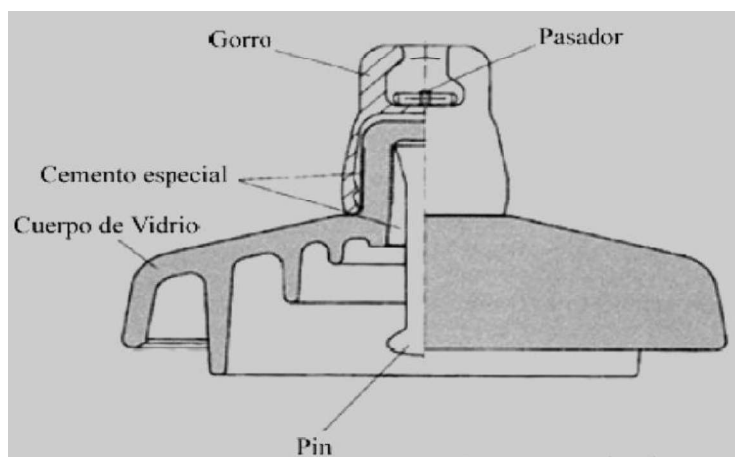
- Primero, se debe tener en cuenta la resistencia eléctrica, porque cuanto menor es, menores son las pérdidas debidas al calentamiento.
- El segundo factor es la durabilidad mecánica, ya que las líneas de transmisión aéreas experimentan grandes tensiones tanto cuando se montan como a lo largo del tiempo debido a que como se menciona deben ser resistentes a las distintas condiciones climáticas.
- Tercero, el aspecto económico en el que se busca el costo mínimo de la línea, lo que conduce a menores costos de construcción que representa mayores ganancias.

Se puede concluir que los conductores pueden ser de distintos materiales y que básicamente los más utilizados son el acero, aluminio y cobre también deben cumplir características específicas de diseño: una elevada resistencia mecánica a la tracción, baja resistencia eléctrica, y por, sobre todo, que tenga un bajo costo (Quezada, 2005).

1.3.2. Aisladores

Los aisladores son los responsables de proporcionar soporte a los conductores mientras los mantienen aislados del suelo. El material más común para aisladores es la porcelana, aunque también se utilizan vidrio templado y materiales sintéticos. Desde un punto de vista eléctrico, los aisladores deben ser muy resistentes a las corrientes de fuga de superficie y tener un grosor suficiente para evitar perforaciones debido al fuerte gradiente de voltaje que tienen que soportar. Para aumentar la resistencia de contacto, tienen forma de campana.

Figura 1. Corte transversal de un aislador de vidrio



Fuente: González-Longatt, (2016). *Capítulo 1. Elementos de líneas de transmisión aéreas.*

Los aisladores deben ser lo suficientemente robustos como para soportar las cargas de los conductores. También definen que hay 2 tipos principales:

- Aisladores fijos: están unidos al soporte mediante un accesorio fijo y por lo tanto, normalmente no puede cambiar de posición después de la instalación.
- Aisladores en cadenas: consisten en un número variable de los mismos según el voltaje de funcionamiento; forman una cadena móvil alrededor de su punto de fijación en el soporte. Este aislador es uno de los más utilizados en líneas de media y alta tensión.

Por lo que aisladores son los elementos que tienen la función de sujetar mecánicamente a los conductores que forman parte de la línea, manteniéndolos aislados de tierra y de otros conductores.

1.3.3. Soportes

La principal actividad de los soportes es mantener alejados a los conductores entre sí y de algunos elementos como lo puede ser suelo, la cobertura forestal, y con esto evitar arcos eléctricos entre conductores o problemas debajo y al lado de ellos. El tipo de soportes es muy diferente, en los sistemas de transmisión suele ser de metal, hormigón o madera, y su selección depende de un análisis económico. La materia prima de las estructuras siempre ha sido una reacción al establecimiento de recursos. Por supuesto, que se han desarrollado técnicas muy específicas en cada país. Los soportes deben ser resistentes a las influencias externas como el viento, la nieve, la lluvia, entre otros. También deben permitir una fácil instalación (Lainez, 2013).

Los soportes más utilizados son de dos tipos básicamente los cuales son postes y torres.

El poste es una estructura de tipo vertical que se encuentra expuesto a distintas tensiones de flexión. Los mástiles son utilizados para soportar cables eléctricos durante años. Pueden ser elaborados en metal, madera y concreto y tienen las siguientes secciones: circular; hexagonal; octagonal. Algunas de las ventajas de implementar postes metálicos son: su peso es ligero en comparación con los otros materiales, son fáciles de transportar y su montaje y colocación es fácil de realizar porque no se requiere mano de obra especial. Los postes de metal están hechos de chapa de acero que pueden tener diferentes secciones (Lainez, 2013).

Tabla I. **Aplicación del tipo de poste en función de la tensión de la red**

Tensión en Kv	Poste	Longitud del vano en metros
0.40	Madera, hormigón	40-80
10-30	Celosía de acero y hormigón	100-220
45-132	Celosía de acero y hormigón	200-300
220-400	Celosía de acero	300-500

Fuente: González-Longatt, (2016). *Capítulo 1. Elementos de líneas de transmisión aéreas.*

Se conocen como torres a las estructuras metálicas de ensamblaje seccionado, utilizados en las líneas de transmisión eléctrica en su mayoría de media y alta tensión y es la más comúnmente utilizada, sus piezas o segmentos son en forma de perfiles o ángulos. Las diferentes secciones se unen con tornillos también galvanizados, y en los puntos de concurrencia de varios perfiles se

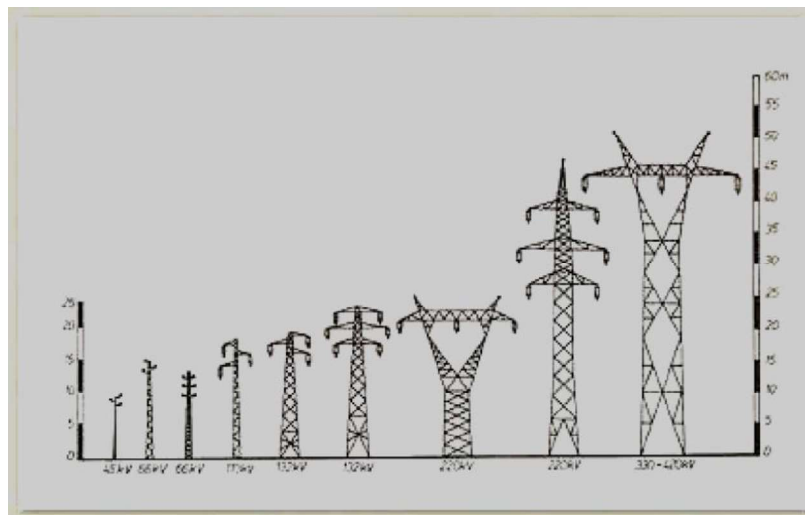
utilizan piezas planas o que forman ángulos que dan la estructura a la misma (González-Longatt, 2016).

La función básica de la torre es soportar cables para conductores de energía y cables de protección para proteger a los conductores de descargas atmosféricas. Hoy en día, también se utiliza para transmitir voz y datos a través de fibras ópticas (Hernández y Morales, 2005).

Existen diversos tipos de torres de acuerdo con la función que desempeñan en la línea de transmisión:

- Suspensión: son las estructuras que su función principal es soportar el peso de los cables y todos los accesorios relacionados con los conductores, además de los factores climáticos.
- Deflexión: estas torres son utilizadas en los puntos de inflexión a lo largo de las líneas de transmisión eléctrica.
- Remate: se colocan al inicio y al final de la línea de transmisión, además de tangentes largas mayores a 5.0 Km.

Figura 2. **Esquema de torres metálicas utilizadas en alta tensión**



Fuente: González-Longatt, (2016). *Capítulo 1. Elementos de líneas de transmisión aéreas.*

1.4. Metodología de construcción de una línea de transmisión

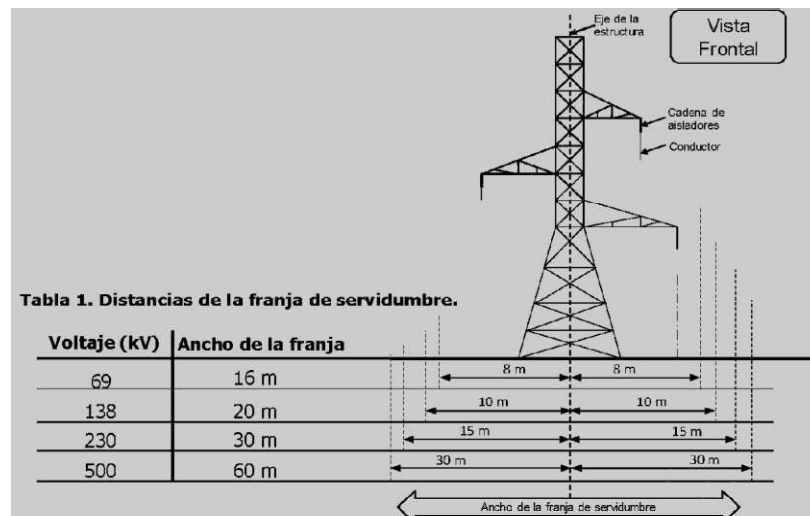
A continuación, se describe la metodología utilizada para la construcción de una línea de transmisión de alta tensión.

1.4.1. Roce y despeje de franja de servidumbre

Esta actividad consiste en la eliminación parcial de la cobertura forestal o vegetal que pueda poner en riesgo la infraestructura de las líneas de transmisión eléctricas. Respetando los parámetros técnicos, así como los permisos de las servidumbres de paso constituidas como los permisos otorgados por los entes responsables como licencias ambientales, planes de gestión ambiental, licencias forestales, entre otros.

En la mayoría de los casos no se deberá de realizar la eliminación total de la cobertura vegetal ya que el propósito de dejar los troncos y raíces es para reducir los procesos de erosión que pongan en riesgo la estabilización del suelo como de las estructuras que se montarán (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

Figura 3. **Distancia de despeje o roce por voltaje de línea de transmisión**



Fuente: González-Longatt, (2016). *Capítulo 1. Elementos de líneas de transmisión aéreas.*

1.4.2. Replanteo topográfico

El replanteo, se trata de una materialización en el campo del proyecto, por lo que identificando de manera adecuada y clara se definirán los puntos básicos del proyecto, el proyecto se entenderá como un conjunto de documentos escritos, digitales y gráficos para proyectos de construcción o líneas de transmisión (Quezada, 2005).

Las ubicaciones básicas a los cuales se hace referencia son aquellas necesarias para definir los elementos que conforman el proyecto y que se desean replantear, se puede decir que palabras son ubicaciones de inflexión o de referencia, los cuales en algunos casos se encuentran físicamente en terreno, ya sea materializados con estacas de madera o monolitos de concreto, donde se indican sus coordenadas y cota (Quezada, 2005).

Se puede decir que el replanteo, es la operación inversa del levantamiento, ya que en este tomamos datos del terreno los cuales posteriormente son colocados en un plano (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

1.4.3. Excavaciones para fundiciones

La excavación se basa en la investigación geotécnica en la línea a construir. La estructura está diseñada para un conjunto de suelos, considerando siempre el suelo con la capacidad de soporte más desfavorable, esto significa que los planos de ingeniería incluirán estructuras de anclaje y suspensiones y tipo de estructura de cimentación (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

Si alguna estructura quedará cimentada en suelo con baja capacidad de carga, se debe realizar la investigación necesaria para definir la capacidad de carga del suelo, y luego se debe diseñar una fundición especial para cumplir con las condiciones requeridas. Por lo que se hace necesario su valoración in situ de cada una de las excavaciones, para observar y cerciorarse si el tipo de fundación propuesto es acorde al suelo encontrado (Quezada, 2005).

- Tipos de fundiciones

Según Espinoza, Espinoza y Hernández (2018), existen los siguientes dos tipos de fundiciones que son: fundiciones normales y fundiciones especiales.

- Fundiciones normales: estas son las bases que se admiten en algunos de los tipos de suelo, en las especificaciones técnicas respectivas o en los planes del proyecto. Estos son los cimientos normales, cuyo cambio se requiere debido al diseño del terreno local.
- Fundiciones especiales: estas son las bases que se apoyan en un suelo que, debido a su baja capacidad de carga, no encaja en la clasificación de fundiciones para cimientos normales. También se consideran cimientos especiales cuando una estructura está muy cerca del cruce de un río. Por lo tanto, existe el riesgo de que el terreno se vea afectado.

1.4.4. Emplantillado

Tan pronto como se complete el trabajo de excavación se comenzará el trabajo para levantar las bases. Por lo tanto, se realiza una plantilla basada en concreto, la cual se puede hacer en sitio, para alcanzar el nivel de sellado de la base. Para esto, se debe crear un protocolo para la recepción del nivel de plantilla con las dimensiones reales comparadas con las del proyecto, con el cual se puede aceptar una tasa de error de ± 5 mm (Quezada, 2005).

Una vez se ha iniciado el trabajo de fortificación y colocación de trozos, el procedimiento de verificación de la altura de la plantilla se lleva a cabo con

soporte de topografía, tomando lecturas en las esquinas de la base, una lectura en el medio de cada cara y finalmente una en el medio de la base, según lo descrito por (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

1.4.5. Instalación de estub

Una de las actividades a ejecutar durante la construcción y previo al montaje de las torres de las líneas de transmisión de alta tensión, es la colocación de los estub o angulares, los mismos van en la base de fundación y queden fijados con inclinaciones y niveles exigidos, una vez instalados esto permite el montaje de la estructura (Quezada, 2005).

1.4.6. Montaje de estructuras

Luego de que se tiene la certeza de la colocación del estub, se ordena y clasifica los perfiles que conforman la torre, los tipos de pernos, accesorios y tuercas se clasificarán de acuerdo con el tipo de cuerpo y estructura a instalar para optimizar el tiempo requerido para el montaje de la torre (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

1.4.7. Tendido de conductores

Antes de comenzar a tender el cable, se debe estudiar la parte de la línea a tender, y se debe considerar lo siguiente: Hacer un recorrido por las intersecciones con líneas existentes, vías de tren, carreteras, entre otros. También se deben definir las posiciones apropiadas para el cabrestante y las posiciones de freno en cada extremo de la sección, debe estar firmemente fijado al suelo para evitar que el conductor trabaje demasiado debido al desplazamiento accidental del equipo (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

Los frenos y los dispositivos de disparo se ubican preferiblemente en el eje de la línea para facilitar el movimiento del cable guía y el conductor de la línea de transmisión de energía eléctrica (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

1.4.8. Puesta en servicio

Primero, se debe realizar una inspección visual del estado de la línea para confirmar que todos los puentes se han instalado en la estructura anclada. La cantidad de aislamiento disponible corresponde a la cantidad de aislamiento requerida (Quezada, 2005).

Una vez completada la inspección visual, deben realizarse otras pruebas como lo son: correspondencia de fase: esta prueba incluye verificar que cada fase en la subestación de salida corresponde a la fase de entrada que llega a la subestación. Esta prueba se realiza inyectando un voltaje (corriente de 380 V) a través del generador. Se alterna al comienzo de una fase y se debe confirmar su llegada al final de esta. Posteriormente se repite este paso para todas las fases del circuito del proyecto (Espinoza, Espinoza y Hernández, 2018).

También, deben realizarse pruebas de aislamiento o prueba de alto voltaje: esta prueba se realiza utilizando un equipo especial, que consiste en colocar voltaje en cada fase con corriente continua. Por lo general, la prueba comienza a 5 kV.

Y aumente en un múltiplo de 5 por minuto hasta que alcance 2.5 veces el voltaje de línea nominal, la prueba mostrará la pérdida de corriente en el aislador de cada estructura de línea, luego estos resultados deben compararse con el valor teórico y el valor aceptable de cada elemento, y se puede poner en funcionamiento la línea de transmisión eléctrica (Quezada, 2005).

1.5. Evaluación de impactos ambientales

A continuación, se realiza una breve descripción relacionado con los estudios de evaluación de impacto ambiental.

1.5.1. Estudio de evaluación de impacto ambiental –EIA-

Una evaluación de impacto ambiental es una evaluación de los impactos relacionados a las actividades planificadas al ambiente, incluyendo los impactos en la biodiversidad, factores bióticos y no bióticos. El EIA se considera como un instrumento que permita la predicción, identificación y evaluación de los impactos ambientales, que permita definir acciones, y actividades que permitan la mitigación, en la búsqueda de reducir las afectaciones negativas.

La evaluación del impacto ambiental es la recopilación de información para identificar los riesgos, los impactos positivos y negativos, así como las medidas de mitigación integradas a lo largo del ciclo de vida del proyecto, desde el diseño hasta la finalización y cierre del proyecto para que los tomadores de decisiones estén bien informados.

Por su versatilidad los estudios de evaluación de impacto ambiental se aplican variedad de sectores, incluyendo la agricultura, ganadería, proyectos de construcción, turismo, establecimientos de plantaciones forestales, hidroeléctricas, proyectos de transporte de energía, entre otros. Todos los proyectos requieren que se realicen evaluaciones ambientales no importando su tamaño, considerando que toda actividad humana genera algún impacto al ambiente.

1.5.2. Ciclo de los estudios de evaluación de impacto ambiental en proyectos

El EIA es uno de los instrumentos ambientales de carácter preventivo para un proyecto, su aplicación no es ideal para la resolución de problemas ambientales existentes. Esto significa que EIA no puede resolver ningún problema ambiental actual, lo más que podrá alcanzar es mitigar algunos impactos. Al igual que la formulación y evaluación de proyectos, EIA se basa en información objetiva para predecir intentos futuros (León, 2004).

Como se hizo en el plan del proyecto, la formulación de EIA involucra diferentes etapas, que generalmente pueden hacerse consistentes con las diversas etapas del proyecto. En otras palabras, así como hay un ciclo de proyecto, también hay un ciclo de EIA (León, 2004).

Tabla II. Cuadro resumen de actividades de estudios de evaluación de impacto ambiental

Ciclo del EIA	Descripción
Descripción Ambiental básica (inicial)	• Levantamiento de información ecológica y ambiental (existente y nueva) del área. • Diagnóstico ambiental.
Descripción ambiental básica (completa)	• Identificación de áreas y/o especies de alto valor ecológico, cultural, arqueológico o recreacional.

Continuación tabla II.

Identificación de impactos ambientales	• Análisis Ambiental de alternativas. • Estudios complementarios relacionados con el ambiente. • Identificar impactos mitigantes y no mitigantes, si los mismos son permanentes o transitorios en el largo, mediano y corto plazo.
Evaluación ambiental de impactos	• Valoración de afectaciones ambientales (en dimensión de importancia). • Valoración de medidas de mitigación identificadas. • Diseño del Plan de seguimiento y monitoreo. • Diseño del Plan de contingencia.
Medidas de mitigación seguimiento, monitoreo y control ambiental Medidas de mitigación, seguimiento y control ambiental	• Revisión y ejecución de medidas mitigatorias • Auditorías ambientales • Programación de monitoreo • Plan de contingencias • Ejecución de medidas mitigatorias • Plan de manejo ambiental • Auditorías ambientales

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

1.5.3. Contenido de una evaluación de impacto ambiental -EIA-

La evaluación ambiental se centra en la revisión de alternativas ambientales para los proyectos y medidas de prevención, actividades de mitigación, control de posibles impactos ambientales y sociales negativos. También menciona que, por lo general, esto implica una serie de pasos, que incluyen el proceso de

selección del proyecto, la evaluación, la gestión del impacto, el desarrollo de informes de evaluación del impacto ambiental, la participación pública, la revisión, la toma de decisiones y el monitoreo.

En el caso de Guatemala, existe una institución reguladora a nivel nacional, que es el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, quien establece los términos de referencia, contenidos y procesos técnicos específicos para el desarrollo de cada herramienta ambiental y los mismos serán determinados por la Dirección General de Medio Ambiente y Gestión de los Recursos Naturales en un manual específico que será aprobado por decreto del Ministerio.

1.5.4. Métodos matriciales de evaluación ambiental

Los métodos matriciales se han utilizado ampliamente porque permiten evaluar eventos más incomparables, por ejemplo, las personas que aprecian los paisajes de montaña o las personas que venden industrias de servicios en una determinada comunidad. Este tipo de matriz incluye comparar la lista horizontal de actividades del proyecto con la lista vertical de parámetros ambientales. La posible causalidad entre las actividades y las variables ambientales se puede identificar colocando una casilla de verificación en la casilla cruzada correspondiente en la matriz (León, 2004).

En 1971 Leopold buscó evaluar el impacto ambiental relacionado con la ejecución de grandes proyectos de infraestructura, también fue él que construyó una matriz en la que todas las medidas posibles para un proyecto y poder evaluar su potencial impacto ambiental (León, 2004).

La matriz de Leopold además de identificar los problemas ambientales, la matriz de causa y efecto también es útil; reconocer la interacción entre los

proyectos propuestos y las actividades del proyecto y su impacto en el medio ambiente (Toro, Martínez y Martelo, 2016).

1.5.5. Matriz causa – efecto método de Leopold

La metodología de Leopold fue el primer método de evaluación de impacto ambiental desarrollado en 1971 por el Servicio Geológico del Departamento de Estado de EE. UU. Consiste en una matriz de doble entrada en la que los factores ambientales que pueden verse afectados en las filas y las actividades que se llevarán a cabo en un proyecto en las columnas. Mirando a este último como la causa de posibles efectos (Toro, Martínez y Martelo, 2016).

1.6. Descripción del método

La base del sistema es una matriz en la que las entradas en las columnas representan las acciones de los hombres influyen o cambian el entorno, y las filas son las entradas que caracterizan el entorno o entorno en el que se desarrolla la actividad o el proyecto es interpretado. Con estas entradas de fila y columna, puede definir las interacciones existentes en una matriz estándar. Puede encontrar gran cantidad de interacciones, aunque esto puede variar según el estudio de caso (Toro, Martínez y Martelo, 2016).

La fase inicial para la utilización de la matriz de Leopold es definir las interacciones existentes en un proyecto vale decir todas las acciones (columnas) que tendrá el proyecto y los factores ambientales afectados por dichas acciones son colocados en las filas, donde convergen las filas y columnas evaluadas se traza una diagonal que determinara las interacciones o efectos para tener en cuenta (Aguilar, 2013).

Al finalizar la identificación y evaluación de los impactos se procede a valorar los mismos en una magnitud entre 1 y 10, donde 10 es el cambio máximo en el factor ambiental y 1 es el mínimo. Importancia: es el peso o el valor relativo que tiene el factor ambiental dentro del proyecto, o la posibilidad de que ocurran cambios. Los valores de tamaño están precedidos por un signo más (+) o menos (-), dependiendo de si hay efectos positivos o negativos en el medio ambiente (Aguilar, 2013).

Tabla III. Sección de matriz causa y efecto de Leopold

				suministro de ganado	descarga de ganado	manejo del ganado en corrales	pesa y limpieza del ganado	proceso de sacrificio	manejo del producto terminado	elaboración de embutidos	manejo del producto terminado	manejo de cuartos fríos	movimiento del personal
			1 Recursos minerales										
			2 Suelos aprovechables										
			3 Materiales explotables										
			4 Geofísico										

Fuente: Toro, Martínez y Martelo (2016). *Metodología para la evaluación de impactos ambientales*.

1.7. Desglose de factores ambientales

Los principales factores para evaluar cómo los efectos en factores físicos, biológicos y socioeconómicos involucrados en cada proyecto. Los factores ambientales para introducir en la matriz de Leopold se agrupan de acuerdo con los siguientes tipos: propiedades fisicoquímicas (tierra, agua, atmósfera, procesos).

Condiciones biológicas (fauna y flora). Factores culturales (Uso de territorios, recreativos, estéticos y de interés humano, nivel cultural, servicios e infraestructura) los describe (Toro, Martínez y Martelo, 2016).

- Interpretación de resultados

Los resultados se pueden interpretar de dos formas que pueden ser estadística o gráficamente.

1.7.1. Guía ambiental

Según el, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales ente rector en temas ambientales para el país, las describe como una herramienta que tiene por objeto incorporar las buenas prácticas a las variables ambientales en la planificación, desarrollo y evaluación de la gestión ambiental sectorial, como referente técnico mínimo aplicable al desarrollo de proyectos, obras, industrias o actividades de los diferentes sectores productivos del país (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2017).

1.8. Definición de una guía ambiental

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (2015), es un instrumento que proporciona a los ejecutores de proyectos, contratistas de construcción, autoridades y auditores ambientales, consultores, proveedores, herramientas eficaces de consultoría, así como pautas conceptuales, legales, metodológicas y de procedimiento para promover y optimizar el proceso de gestión. Por lo que sus objetivos específicos son los siguientes.

- Agrupar estándares y fortalecer la gestión ambiental.

- Efectuar una eficaz ampliación ambiental.
- Vincular los estándares de evaluación ambiental y mejorar la comunicación con las partes interesadas.
- Proponer una serie de medidas estándar para gestionar, controlar y vigilar el medio ambiente de forma analítica y rigurosa. Estas medidas se basan en el análisis del impacto de los proyectos de distribución de energía en el medio ambiente y pueden ser aplicadas de manera efectiva por los usuarios de las directrices.

1.9. Características de guías ambientales para Guatemala

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2017), los requisitos de una guía ambiental en Guatemala son:

- Introducción: aquí se deberá describir lo que impulsa a proponer una guía ambiental para un sector o subsector.
- Marco jurídico: debe tener en cuenta todos los aspectos legales de las reglamentaciones nacionales vigentes relacionadas a temas ambientales y reglamentaciones específicas relacionadas con el sector o subsector.
- Descripción de los procesos: que debe estar estructurado de la siguiente manera:
 - Definición y categorización de los sectores: se debe considerar la división de las actividades económicas en sectores económicos, los

sectores o subsectores se definirán con base en características comunes y tendrán una o más características que las distingan de otras características. Su caracterización se realizará según el proceso. La producción y ciertas actividades económicas que ocurren en cada producción se clasifican de acuerdo con las leyes específicas aplicables.

- Descripción de actividades: las actividades se dividirán en: actividades principales, así como procedimientos de apoyo y actividades relacionadas.
- Identificar y evaluar los posibles impactos: se deberá tomar en cuenta lo siguiente:
 - Aspectos ambientales: se debe definir la interacción de las actividades del departamento o subsector, los elementos del producto o servicio y el medio ambiente. Específicamente, los aspectos ambientales pueden causar uno o más impactos.
 - Identificación y determinación de aspectos e impactos ambientales: los impactos ambientales son cambios en el medio ambiente, que son todas o parte de las consecuencias ambientales que puede causar un departamento. Para determinar el impacto ambiental, deben utilizar métodos aceptados.
 - Plan ambiental: después de determinar, analizar y cuantificar el impacto ambiental, además de las medidas preventivas y de mitigación definidas, se debe formular un Plan de manejo ambiental, debe tomar en cuenta los aspectos siguientes:

- Analizar las acciones que se pueden tomar en las actividades encontradas.
- Realizar evaluaciones ambientales y económicas basadas en las actividades de cada proyecto para minimizar los posibles impactos.

1.9.1. Fundamento jurídico, ambiental, forestal y eléctrico vigente

A continuación, se describen los fundamentos jurídicos relacionados a la evaluación ambiental que se realizó.

Tabla IV. Legislación vigente relacionada con el estudio

Nombre	Descripción
Constitución Política de la República	Ley suprema del país en su Artículo 129 declara de urgencia nacional, la electrificación del país.
Ley General de Electricidad	La presente ley norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad.
Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto No. 68-86	Legislación marco en materia de ambiente y recursos naturales
Ley de áreas protegidas, Decreto No. 4-89	Norma que establece los objetivos en favor de la conservación, protección, rehabilitación y mejoramiento de los recursos naturales del país.

Continuación tabla IV.

Manual de procedimientos para la presentación y aprobación de guías ambientales, Acuerdo Ministerial No. 349-2017	Sistematiza, integra y documenta el procedimiento mediante el cual se deben presentar ante el MARN, las propuestas de Guías Ambientales para su revisión y aprobación mediante Acuerdo Ministerial
Listado taxativo de proyectos, obras, industrias o actividades, Acuerdo Ministerial, No. 204-2019	Instrumento que permite al MARN, enumerar y categorizar los proyectos, obras, industrias o actividades como de alto, moderado y bajo impacto ambiental potencial.
Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto No. 68-86	En su Artículo 8 consigna que será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental. Así como el que omitiere dicho estudio será sancionado con una multa, y de no pagar la multa el proyecto será clausurado en tanto no cumpla
Ley de áreas protegidas, Decreto No. 4-89	En el Artículo 20 se describe que para proyectos dentro de áreas protegidas se deberá presentar un estudio de evaluación de impacto ambiental y en Título V describe las sanciones de no cumplir con lo estipulado
Ley forestal, Decreto No. 101-96	Buscar velar por la conservación de la cobertura forestal en el país. En el Artículo 46 se describe que para cualquier actividad que cambien el uso de la tierra con bosque a otro se deberán de presentar los estudios técnicos correspondientes quien no cumpla con esto será sancionado según lo estipulado en los artículos 43 y 98, que van desde multas hasta prisión.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

En esta fase, es necesario recopilar información sobre la evolución de los impactos ambientales, con el fin de identificar las principales medidas de mitigación para el control y seguimiento ambiental.

En consiguiente se presenta la información sobre la identificación, estimación y evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con la construcción, operación y cierre de un proyecto de línea de transmisión.

Para la caracterización y evaluación se describe el método utilizado y luego se muestra cómo evaluar los impactos potenciales.

2.1. Metodología

La metodología consta de varios pasos que deben de seguir:

- Paso 1: se definieron las variables ambientales a ser evaluadas posteriormente como se observa en la tabla IV, posteriormente para identificar los impactos ambientales potenciales, se inicia analizando las actividades que se desarrollarán en cada etapa del proyecto y los componentes que pueden verse afectados (ambiente biológico, sociocultural, y físico), los cuales se describen en la tabla V.

Tabla V. **Variables ambientales**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Edáfica	Perteneciente o relativo al suelo, especialmente en lo que respecta a las plantas	Se evalúa como un factor abiótico que se puede ver afectado por la modificación de su estructura en los procesos de construcción o modificaciones por derrame de materiales o desechos incorporados al mismo.
Hídrico	Se refiere a todo lo perteneciente o relativo al agua	Se evalúa como un factor biótico que se puede ver afectado en los distintos procesos relacionados, al momento de la construcción y operación de los proyectos como derrames de sustancias o desechos incorporados sin ningún tratamiento. Para su control se utiliza lo estipulado en el reglamento 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.
Atmosférico	Perteneciente o relativo a la atmósfera	Se evalúa como un factor abiótico que se puede ver afectado por la emisión de partículas en suspensión, su calidad se establece por medio de muestreos en los que mide la presencia de partículas menores a 10 micrómetros.
Fauna	Conjunto de los animales de un país, región o medio determinados	Se evalúa como un factor biótico que se puede ver afectado en los distintos procesos relacionados, al momento de la construcción y operación de los proyectos, por lo que se hacen monitoreos de diversidad pre y post la ejecución de las actividades.
Flora	Conjunto de plantas de un país o de una región	Se evalúa como un factor biótico que se puede ver afectado en los distintos procesos relacionados, al momento de la construcción y operación de los proyectos, por lo que se hacen monitoreos de diversidad pre y post la ejecución de las actividades.

Continuación tabla V.

Social	Hace referencia a todos los factores sociales (Comunidades, servicios, oferta laboral, entre otros.), que se pueden ver afectados por los proyectos desarrollados	Se monitorea constantemente por medio de distintas herramientas como sistemas de preguntas, quejas, respuestas y soluciones, reuniones de seguimiento, capacitaciones, entre otros. Las cuales deben de ser implementadas en las fases de los proyectos.
---------------	---	--

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VI. **Actividades desarrolladas en cada etapa**

Etapas	Actividad general	Actividad específica
Edificación	Construcción de obras de ingeniería civil	Acondicionamiento de instalaciones temporales y acopio de materiales
		Traslado de maquinaria, insumos, materiales y equipo.
		Organizar personal
		Acondicionamiento de vías de acceso para bestias, vehículos, teleféricos y helicópteros (según sea requeridos)
		Preparación de posiciones de apoyo (como lo es la eliminación de la vegetación, desbroce y nivelación)
	Montaje y tendido	Despeje de servidumbre, patios o estaciones de tendido; e izado del conductor
		Traslado e instalación de soportes y cables conductores.

Continuación tabla VI.

Operación	Transmisión de energía	Ensayos
		Fluctuación de energía
		Mantenimiento y supervisión de las servidumbres
		Revisión de los equipos electromecánicos
Desmantelamiento	Cierre Abandono	Supervisión de lo estable de los anclajes de los soportes
		Desinstalación de las líneas de transmisión eléctrica y accesorios como aisladores.
		Demolición de cimientos
		Restauración de las áreas intervenidas
		Desmontaje de conductores

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Paso 2: resultado de esta identificación de actividades se consideran las afectaciones que se podrían ejercer sobre componentes como:
 - Atmósfera y ambiente
 - Aumento en los niveles de gases por procesos de combustión.
 - Aumento las partículas en suspensión.
 - Aumento de los niveles de ruido.
 - Presencia de campos electromagnéticos.
 - Hídrico
 - Variación en cuanto a la calidad de agua de cuerpos superficiales.

- Edáfico
 - Modificación del uso del suelo.
 - Afectaciones por un manejo no adecuado de los desechos.
 - Erosión variación de estructura del suelo.
- Fauna
 - Ruptura o separación de los ecosistemas por efectos del proyecto.
 - Alteración local de la fauna.
 - Restauración del ecosistema.
 - Choque de fauna voladora con los cables conductores de las líneas.
- Flora
 - Modificación de la estructura vegetal.
 - Restauración de la vegetación.
- Cultural, económico y social
 - Posible modificación de vías de acceso.
 - Modificación del paisaje.
 - Alteración patrimonio cultural.
 - Beneficio al sistema de energía.
 - Creación de expectativas.
 - Creación de empleos reflejado en ingresos.
 - Riesgos de accidentes laborales.
 - Generación de posibles conflictos.
 - Restauración del paisaje.

- Paso 3: ya identificados los factores ambientales se procede a evaluarlos dentro de la matriz de identificación de impactos que se muestra en la tabla VII donde se sobreponen las actividades del proyecto y los componentes bióticos, ambientales, físicos y socioeconómicos.

Tabla VII. **Matriz de identificación de impactos**

ETAPA	VARIABLES AMBIENTALES AFECTADAS	Atmosférico	Hídrico	Edáfico	Fauna	Flora	Social, Económico y Cultural
Construcción	Incremento en la concentración de gases de combustión	X	X	X	X	X	X
	Incremento en la concentración de material particulado	X	X	X	X	X	X
Operación	Incremento en los Niveles de Presión Sonora	X	X	X	X	X	X
	Generación de campos eléctricos y/o magnéticos	X	X	X	X	X	X
Cierre	Alteración de la calidad del agua superficial	X	X	X	X	X	X
	Cambio en el uso de la Tierra	X	X	X	X	X	X
Operación	Contaminación por mal manejo de desechos	X	X	X	X	X	X
	Erosión	X	X	X	X	X	X
Operación	Alteración del Sub suelo	X	X	X	X	X	X
	Fragmentación del hábitat e incremento del efecto de borde	X	X	X	X	X	X
Operación	Perturbación de fauna local	X	X	X	X	X	X
	Restablecimiento de hábitat	X	X	X	X	X	X
Operación	Colisión de aves con las líneas de transmisión	X	X	X	X	X	X
	Alteración de la composición y estructura vegetal	X	X	X	X	X	X
Operación	Regeneración de cobertura vegetal	X	X	X	X	X	X
	Afectación de accesos	X	X	X	X	X	X
Operación	Afectación del paisaje	X	X	X	X	X	X
	Afectación del Patrimonio Cultural	X	X	X	X	X	X
Operación	Beneficios al sector energía del país	X	X	X	X	X	X
	Generación de expectativas	X	X	X	X	X	X
Operación	Generación de ingresos (empleos)	X	X	X	X	X	X
	Accidentes durante actividades laborales	X	X	X	X	X	X
Operación	Pérdida de terrenos con fines agrícolas	X	X	X	X	X	X
	Potenciación de conflictos	X	X	X	X	X	X
Operación	Restablecimiento del paisaje	X	X	X	X	X	X
	Restablecimiento del paisaje	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Paso 4: la metodología para la valoración de los potenciales impactos identificados comprende la elaboración de índices de impacto ambiental para cada impacto identificado en la matriz respectiva. La evaluación propuesta según la metodología antes mencionada considera en primer lugar la calidad de las siete variables que afectarán el valor del índice ambiental del impacto evaluado. Las siete variables utilizadas se describen a continuación:
 - Valoración de la intensidad
 - Carácter del impacto (+/-): esta valoración plantea si la afectación de cada actividad es o negativo (-) o es positivo (+).
 - Intensidad del impacto (I): la intensidad considera que tan grave puede ser la influencia de la actividad del proyecto sobre el componente ambiental analizado. La objetividad de la calificación dependerá del grado de conocimiento y experiencia del grupo evaluador. La escala de calificación de esta variable se muestra en la tabla VIII.

Tabla VIII. Escala de valoración de la intensidad

Intensidad	Valoración
Baja	1
Mediana	5
Alta	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Valorización de la extensión
 - Extensión del impacto (E): esta variable considera la influencia del impacto sobre la delimitación espacial del componente ambiental. Es decir, este califica el impacto de acuerdo con el tamaño de la superficie o extensión afectada por las actividades propuestas por el proyecto, tanto directa como indirectamente. La escala de calificación de esta variable se muestra en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Escala de valoración de la extensión**

Extensión	Valoración
Puntual	1
Local	5
Regional	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Duración del impacto ambiental
 - Duración del impacto ambiental (D): esta variable considera el tiempo que durará el efecto de la actividad del proyecto sobre el componente ambiental analizado. En la tabla X muestra la escala de valores sugeridos para calificar esta variable.

Tabla X. **Escala de duración del impacto ambiental**

Duración	Valoración
Temporal	1
Recurrente	5
Permanente	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Magnitud del impacto ambiental (M): esta variable no necesita ser calificada ya que su valor es obtenido a partir de las tres variables anteriores (intensidad, extensión y duración). Sin embargo, cada variable no influye de la misma manera sobre el resultado final de la magnitud, cuya ecuación es la siguiente:

$$Mi = \pm [(Ii \times WI) + (Ei \times WE) + (Di \times WD)] \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

I: Intensidad

E: Extensión

D: Duración

En esta ecuación WI, WE y WD, son factores adimensionales que representan el peso de incidencia de la variable considerada, sobre la magnitud del impacto, y cuyo valor numérico individual es inferior a 1. La suma de los tres coeficientes de peso, en conjunto, debe ser siempre igual a una unidad. La asignación de valores a los coeficientes de peso dependerá del criterio del grupo evaluador. En este caso, se asignaron los valores, WI = 0.30; WE = 0.40; WD = 0.30.

- **Reversibilidad del impacto ambiental**
 - **Reversibilidad (RV):** esta variable considera la capacidad del sistema de retornar a las condiciones originales, después que ha cesado la actividad generadora del impacto. En la tabla XI se muestra la escala de valores asignados para su calificación.

Tabla XI. Escala de reversibilidad del impacto ambiental

Reversibilidad	Valoración
Reversible	1
Parcialmente reversible	5
Irreversible	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- **Probabilidad de ocurrencia del potencial impacto ambiental**
 - **Probabilidad del suceso (PG):** valora la probabilidad de que ocurra el impacto sobre el componente ambiental analizado. En la tabla XII se presenta la escala de valores asignados a esta variable.

Tabla XII. Escala de probabilidad de ocurrencia del potencial impacto ambiental

Probabilidad	Valoración
Probabilidad de ocurrencia menor al 10 %	1
Probabilidad de ocurrencia de hasta el 50 %	5
Probabilidad de ocurrencia mayor al 50 %	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- Rangos de valoración e interpretación del VIA

Después que han sido calificadas las siete variables, se procede a calcular el valor del índice ambiental (VIA). Este valor considera la relación de la magnitud (M), la reversibilidad (RV) y el riesgo (RG), mediante la siguiente expresión matemática:

$$VIA = (RV \times WRV) + (PG \times WPG) + (M \times WM) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

RV: Reversibilidad

PG: Probabilidad

M: Magnitud

En esta ecuación WM, WRG y WRV también son factores adimensionales que representan el peso de incidencia de la Magnitud, Probabilidad y Reversibilidad, respectivamente. Al igual que la ecuación de la magnitud, dichos coeficientes son menores que 1 y la suma de los mismos debe dar como resultado una unidad. Para la presente evaluación ambiental, se asignaron los valores, WM = 0.5; WPG = 0.1; WRV = 0.4.

Una vez obtenido el valor de índice ambiental de cada impacto evaluado, se procesan y analizan los resultados. El procedimiento consiste en la sumatoria algebraica de las filas y las columnas respectivamente. Adicionalmente, se procede a contar los impactos negativos y positivos ocasionados por el Proyecto.

- Valor del índice ambiental (VIA): este es el resultado de la sumatoria de la valoración de las variables analizadas. Su resultado indica la gravedad que representa el potencial

impacto ambiental para los componentes evaluados, según los rangos de valoración asignados que se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII. Rangos de valoración e interpretación del VIA

Rango del valor del índice ambiental (VIA)	Interpretación
1.00 – 4.00	Bajo
4.01 – 7.99	Mediano
8.00 – 10.00	Alto

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La valorización de los potenciales impactos ambientales considera de manera anticipada la implementación de las medidas de mitigación propuestas por el proponente, las cuales ayudarán evitar o reducir la afectación de la calidad ambiental donde se ubica el proyecto.

3. VALORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para la valorización de los potenciales impactos se sostuvo una serie de charlas entre los diferentes profesionales multidisciplinarios en donde se utilizó la información recopilada para la caracterización física, biótica y socio - cultural, y así poder dimensionar las consecuencias de las actividades a desarrollar a lo largo de la ocupación del proyecto.

A continuación, se presenta la tabla XIV en el cual se incluye la matriz de valorización de impactos donde se pueden observar los valores asignados a todas las variables utilizadas.

Tabla XIV. Matriz de valorización de los potenciales impactos identificados

ETAPA	VARIABLES AMBIENTALES AFECTADAS	IMPACTO AMBIENTAL PROPORCIONADO DICHOS	FUENTE GENERADORA DEL IMPACTO	Ponderación de la Magnitud					Ponderación del VIA		VIA	Carácter del VIA	VIA Promedio por Impacto
				Intensidad		Duración	Magnitud	Reversibilidad	Probabilidad	Reversibilidad			
				0.3	0.4								
Construcción	Atmosférico	Incremento en la concentración de gases de combustión	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
		Incremento en la concentración de material particulado	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
		Incremento en los Niveles de Presión Sonora	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
	Hídrico Edáfico	Alteración de la calidad del agua superficial	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Cambio en el uso de la Tierra	Construcción de obras civiles	5	10	10	8.5	10	10	9.25	-	7.45	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	5	10	5.3	10	5	5.65	-	6.85	
		Compactación del suelo	Construcción de obras civiles	1	1	10	3.7	10	10	6.85	-	1.80	
		Contaminación por mal manejo de desechos	Construcción de obras civiles	1	5	1	2.6	1	1	1.8	-	1.80	
Fauna	Erosión	Construcción de obras civiles	Construcción de obras civiles	1	5	1	2.6	1	1	1.8	-	1.80	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Construcción de obras civiles	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Construcción de obras civiles	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
	Alteración del Sustrato	Fragmentación del hábitat e incremento del efecto de borde	Construcción de obras civiles	5	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	1	1	2.2	5	1	2	-	2.70	
		Perturbación de fauna local	Construcción de obras civiles	5	5	5	5	5	1	3.4	-	3.08	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	1	2.2	5	1	2	-	3.08	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	10	6.5	5	1	4.15	-	3.63	
Social, Económico y Cultural	Alteración de la composición y estructura vegetal	Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	1	10	4.9	10	1	3.85	-	3.63	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	5	5	5	1	3.4	-	2.20	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	5	1	2.6	5	1	2.2	-	2.20	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	5	1	2.6	5	1	2.2	-	2.20	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	10	6.5	10	5	6.25	-	6.25	
	Afectación del Patrimonio Cultural	Generación de expectativas	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00
		Construcción de obras civiles	Construcción de obras civiles	10	5	1	5.3	5	1	3.55	-	3.18	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	1	3.8	5	1	2.8	-	3.50	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	10	1	5.8	10	1	4.3	+	2.60	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	1	5	2.6	-	1.90
Operación	Atmosférico	Pérdida de terrenos con fines agrícolas	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	10	1	1.9	-	3.95
		Potenciación de conflictos	Construcción de obras civiles	1	1	1	1	1	5	3	-	3.95	
		Montaje y tendido	Construcción de obras civiles	5	5	1	3.8	10	5	4.9	-	2.00	
		Mantenimiento	Mantenimiento	1	1	5	2.2	5	1	2	-	2.00	
		Transmisión de energía	Transmisión de energía	1	10	10	7.3	1	1	4.15	-	4.15	
	Fauna	Mantenimiento	Mantenimiento	1	1	5	2.2	5	1	2	-	2.00	
		Mantenimiento	Mantenimiento	5	5	5	5	5	1	3.4	-	3.40	
		Transmisión de energía	Transmisión de energía	5	5	10	6.5	10	5	6.25	-	6.25	
		Mantenimiento	Mantenimiento	5	5	5	5	10	1	3.9	-	3.90	
		Mantenimiento	Mantenimiento	1	1	5	2.2	1	1	1.6	-	1.60	
Social, Económico y Cultural	Beneficio al sector energía del país	Transmisión de energía	10	10	10	10	5	10	9.5	+	9.50		
	Generación de ingresos (empleos)	Mantenimiento	1	1	5	2.2	10	1	2.5	+	2.50		
	Accidentes durante actividades laborales	Mantenimiento	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00		
	Incremento en la concentración de gases de combustión	Desmantelamiento de infraestructura	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50		
	Incremento en la concentración de material particulado	Desmantelamiento de infraestructura	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50		
Cierre	Hídrico Edáfico	Incremento en los Niveles de Presión Sonora	Desmantelamiento de infraestructura	5	1	1	2.2	10	1	2.5	-	2.50	
		Alteración de la calidad del agua superficial	Desmantelamiento de infraestructura	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Cambio en el uso de la Tierra	Desmantelamiento de infraestructura	5	10	10	8.5	10	10	9.25	+	9.25	
		Contaminación por mal manejo de desechos	Desmantelamiento de infraestructura	1	5	1	2.6	1	1	1.8	-	1.80	
		Perturbación de fauna local	Desmantelamiento de infraestructura	5	5	1	3.8	5	1	2.8	-	2.80	
	Fauna	Reestablecimiento de hábitat	Desmantelamiento de infraestructura	5	5	10	6.5	10	10	8.25	+	8.25	
		Regeneración de cobertura vegetal	Desmantelamiento de infraestructura	5	5	10	6.5	10	1	4.65	+	4.65	
		Generación de ingresos (empleos)	Desmantelamiento de infraestructura	5	5	10	6.5	10	1	2.5	+	2.50	
		Accidentes durante actividades laborales	Desmantelamiento de infraestructura	1	1	1	1	1	1	1	-	1.00	
		Reestablecimiento del paisaje	Desmantelamiento de infraestructura	1	5	10	5.3	10	10	7.65	+	7.65	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4. CARACTERIZACIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La matriz contiene las medidas y consideraciones para el Proyecto. Las medidas y consideraciones fueron elaboradas a partir de la identificación y valoración de los potenciales impactos ambientales que se identificaron para cada etapa. La matriz contempla las variables ambientales afectadas como pueden ser factores atmosféricos, factores edáficos, flora, fauna, entre otros. Para cada una de las etapas del proyecto.

También se describió la fuente generadora del impacto al ambiente como, por ejemplo, construcción de obras civiles, montaje y tendido, desmantelamiento de la infraestructura, mantenimiento, entre otros. También se identifican las principales medidas de mitigación para cada uno de los impactos, así como las principales medidas y consideraciones para la prevención de la contaminación.

Como referencia se citan la normativa regulatoria con cada uno de los temas de existir una. También se identifica en qué momento del proyecto se debe ejecutar esta medida de mitigación y el costo aproximado en el que se podría incurrir al momento de realizarla. También en esta matriz se consigna las personas responsables de la aplicación de la medida de mitigación y el indicador de desempeño que se debe utilizar para su control y seguimiento.

Tabla XV. Plan de Gestión Ambiental (PGA)

Variables Ambientales Afectadas	Fuente Generadora del Impacto	Impacto Ambiental propiamente dicho	Medidas ambientales establecidas	Cita de la regulación ambiental relacionada	Tiempo de ejecución de esas medidas	Costos de las medidas	Responsable de aplicación de las medidas	Indicador de desempeño	Síntesis del compromiso ambiental
Atmosférico	Construcción de obras civiles	Incremento en la concentración de gases de combustión	Medidas y consideraciones para la prevención de la contaminación atmosférica	CONSTITUCIÓN POLITICA DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA	Construcción	Medición de campos electromagnéticos	Empresa a cargo del proyecto y Contratistas	Todo vehículo y máquina que opere en el proyecto debe recibir un mantenimiento mecánico adecuado para su funcionamiento dentro a la calidad del aire	asegurar que durante todas las actividades del Proyecto se reduzca, mitigue y minimice el potencial deterioro a la calidad del aire
				Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto 68-86 del congreso de la república y sus reformas)		Q60,500			
			Control de Material Particulado						
			- Todo vehículo que transporte material edáfico deberá de ir cubierto con una lona para prevenir la erosión edífica.						
			- Permitir la regeneración natural en las áreas intervenidas para prevenir la generación de material particulado.						
			- Garantizar la utilización del Equipo de Protección Personal (EPP) a los trabajadores en función de la actividad que desarrolle.						

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. GENERALIDADES DE LA GUÍA AMBIENTAL

Con base en las actividades a desarrollar en las distintas etapas del Proyecto, se prevé que los impactos ambientales potenciales se provocarán principalmente durante la etapa de construcción. Entre las principales actividades que podrían provocar un impacto significativo al entorno se destaca la habilitación del derecho de paso (servidumbre) de la sección de la línea de transmisión y la construcción y levantamiento de los soportes, ya que derivado de esta acción se podrían ocasionar efectos sobre el suelo, la calidad del aire, la flora y fauna.

Las medidas, costos, responsables y consideraciones para el manejo se describen en la tabla XIV el cual exhibe el resumen de los potenciales impactos ambientales identificados, y las medidas de mitigación propuestas para minimizar, mitigar y/o erradicar los potenciales efectos.

A continuación, fueron elaborados los planes de gestión ambiental que conformarán la guía ambiental para proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, el cual tuvo como objetivo principal asegurar que las diversas etapas del proyecto se realicen de acuerdo con los programas ambientales aplicables, tomando como punto de partida las experiencias identificadas en proyectos similares. Se presentan medidas y consideraciones orientadas a prevenir, eliminar, minimizar, y controlar los potenciales impactos ambientales, de carácter negativo, que puedan causar alteraciones a los diferentes componentes y su entorno a partir del análisis de las actividades que realice el Proyecto en sus diferentes etapas. Estas medidas incluyen objetivos, prácticas, estrategias, procedimientos o acciones específicas para cada componente. Entre las principales estrategias para la implementación de la Guía Ambiental, se

destaca la planificación, compromiso y aporte de recursos necesarios para cumplir integralmente las medidas de mitigación consideradas y los planes de gestión ambiental.

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Fundamento jurídico, ambiental, forestal y eléctrico vigente

A continuación, se presenta una descripción de las principales leyes relacionadas con la ejecución de proyectos de líneas de transmisión eléctricas.

Tabla XVI. **Legislación específica relacionada con el estudio**

Nombre	Descripción
Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto No. 68-86	Legislación marco en materia de ambiente y recursos naturales
Manual de Procedimientos para la Presentación y Aprobación de Guías Ambientales, Acuerdo Ministerial No. 349-2017	Sistematiza, integra y documenta el procedimiento mediante el cual se deben presentar ante el MARN, las propuestas de Guías Ambientales para su revisión y aprobación mediante Acuerdo Ministerial

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

6.2. Síntesis de la evaluación de impactos ambientales

A continuación, se presenta la síntesis de impactos para las distintas etapas del proyecto.

6.2.1. Etapa de construcción

En la tabla XVII presenta la síntesis de impactos por interpretación del valor de índice ambiental y carácter para la etapa de construcción.

Tabla XVII. Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de construcción

Valoración	-	+	Total
Bajo	15	1	16
Mediano	4	0	4
Alto	0	0	0
Total	19	1	20

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XVIII presenta el resumen de la valorización de impactos por componente para la etapa de construcción.

Tabla XVIII. Resumen de impactos valorados por componente etapa de construcción

Variables ambientales afectadas	Impacto ambiental propiamente dicho	Carácter del VIA	VIA promedio por impacto
Atmosférico	Incremento en la concentración de gases de combustión	-	1.40
	Incremento en la concentración de material particulado	-	1.40
	Incremento en los niveles de presión sonora	-	1.40
Hídrico	Alteración de la calidad del agua superficial	-	1.00
Edáfico	Cambio en el uso de la tierra	-	6.60
	Compactación del suelo	-	3.50
	Erosión	-	3.00
	Contaminación por mal manejo de desechos	-	1.80
	Alteración del subsuelo	-	1.40

Continuación tabla XVIII.

Fauna	Fragmentación del hábitat e incremento del efecto de borde	-	2.75
	Perturbación de fauna local	-	2.63
Flora	Alteración de la composición y estructura vegetal	-	3.25
Social, económico y cultural	Pérdida de terrenos con fines agrícolas	-	5.15
	Afectación del paisaje	-	5.05
	Generación de expectativas	-	4.10
	Generación de ingresos (empleos)	+	3.60
	Accidentes durante actividades laborales	-	3.40
	Potenciación de conflictos	-	2.90
	Afectación de accesos	-	1.80
	Afectación del patrimonio cultural	-	1.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

6.2.2. Etapa de operación

En la tabla XIX se presenta la síntesis de impactos por interpretación del valor de índice ambiental y carácter para la etapa de operación.

Tabla XIX. Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de operación

Valoración	-	+	Total
Bajo	6	0	6
Mediano	2	2	4
Alto	0	0	0
Total	8	2	10

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XX se presenta el resumen de la valorización de impactos por componente para la etapa de operación.

Tabla XX. Resumen de impactos valorados por componente etapa de operación

Variables ambientales afectadas	Impacto ambiental propiamente dicho	Carácter del VIA	VIA promedio por impacto
Atmosférico	Incremento en los niveles de presión sonora	-	3.40
	Incremento en la concentración de material particulado	-	2.80
	Generación de campos eléctricos o magnéticos	-	1.60
Fauna	Colisión de aves con las líneas de transmisión	-	4.95
	Perturbación de fauna local	-	2.60
Flora	Pérdida de cobertura vegetal	-	2.60
Social, Económico y Cultural	Beneficios al sector energía del país	+	5.75
	Afectación del paisaje	-	5.15
	Generación de ingresos (empleos)	+	5.00
	Accidentes durante actividades laborales	-	2.40

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

6.2.3. Etapa de cierre

En la tabla XX se presenta la síntesis de impactos por interpretación del valor de índice ambiental y carácter para la etapa de cierre.

Tabla XXI. Síntesis de impactos por interpretación de VIA y carácter, etapa de cierre

Valoración	-	+	Total
Bajo	7	3	10
Mediano	1	0	1
Alto	0	1	1
Total	8	4	12

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla XXI se presenta el resumen de la valorización de impactos por componente para la etapa de cierre.

Tabla XXII. Resumen de impactos valorados por componente etapa de cierre

Variables ambientales afectadas	Impacto ambiental propiamente dicho	Carácter del VIA	VIA promedio por impacto
Atmosférico	Incremento en la concentración de gases de combustión	-	2.50
	Incremento en la concentración de material particulado	-	2.50
	Incremento en los niveles de presión sonora	-	2.50
Hídrico	Alteración de la calidad del agua superficial	-	1.00
Edáfico	Cambio en el uso de la Tierra	+	9.00
	Contaminación por mal manejo de desechos	-	1.80
Fauna	Restablecimiento de hábitat	+	3.35
	Perturbación de fauna local	-	3.25
Flora	Regeneración de cobertura vegetal	+	3.35
Social, Económico y Cultural	Restablecimiento del paisaje	-	5.00
	Generación de ingresos (empleos)	+	3.40
	Accidentes durante actividades laborales	-	1.00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

6.3. Medidas de mitigación a implementar por componente.

En la siguiente matriz se identifican las variables ambientales afectadas como son los factores atmosféricos, hídricos, edáficos, fauna, flora, social económico y cultural. El impacto ambiental propiamente dicho que hace referencia a la afectación se da al ambiente como puede ser el incremento a la concentración de material particulado en un área específica y en un momento del proyecto. También se estipulan las medidas ambientales establecidas o medidas de mitigación, así quien es el responsable del cumplimiento de estas medidas de mitigación, todo lo anterior se realiza para cada uno de los factores evaluados.

Tabla XXIII. **Resumen de medidas de mitigación a implementar por componente**

Variables ambientales afectadas	Impacto ambiental propiamente dicho	Medidas ambientales establecidas	Responsable de aplicación de las medidas	Síntesis del compromiso ambiental
Atmosférico	Incremento en la concentración de gases de combustión	Medidas y consideraciones para la prevención de la contaminación atmosférica Control de material particulado - Todo vehículo que transporte material edáfico deberá de ir cubierto con una lona para prevenir la erosión eólica.	Proponente del proyecto y contratistas	Asegurar que durante todas las actividades del proyecto se reduzca, mitigue y minimice el potencial deterioro a la calidad del aire

Continuación tabla XXII.

Atmosférico	Incremento en la concentración de gases de combustión	- Permitir la regeneración natural en las áreas intervenidas para prevenir la generación de material particulado.
	Incremento en la concentración de material particulado	- Garantizar la utilización del equipo de protección personal (EPP) a los trabajadores en función de la actividad que desarrolle.
	Incremento en la concentración de material particulado	Control de gases de fuentes móviles
	Incremento en los niveles de presión sonora	- Brindar mantenimiento preventivo periódico a todo vehículo liviano involucrado en la ejecución del proyecto.
	Incremento en los niveles de presión sonora	- Realizar y llevar registro de inspecciones y mantenimiento de los vehículos y maquinaria asociada al Proyecto.
	Cambio en el uso de la tierra	Control de niveles de ruido
	Cambio en el uso de la tierra	- Brindar el mantenimiento mecánico, de acuerdo con especificaciones del fabricante, a todo motor de combustión interna para asegurar su funcionamiento adecuado.
	Compactación del suelo	
	Compactación del suelo	
	Contaminación por mal manejo de desechos	
	Erosión	

Continuación tabla XXII.

- Garantizar la utilización del EPP a los trabajadores en función de la actividad que desarrollen.

- Adecuar los horarios de trabajo al periodo diurno.

- Prohibir el uso de las bocinas de los vehículos y maquinaria para evitar molestias a los vecinos.

Medidas y consideraciones para medición de radiaciones no ionizantes

- Realizar las mediciones de campos eléctricos y magnéticos, conforme lo establezca la legislación vigente.

- Utilizar el EPP apropiado en función de la actividad a desarrollar.

- Verificar que las actividades de mantenimiento de los equipos electromecánicos se realicen conforme a la programación estipulada.

- Únicamente el personal capacitado y autorizado por las autoridades competentes, debe llevar a cabo las mediciones de campos eléctricos y magnéticos.

Continuación tabla XXII.

Medidas y consideraciones
para el mantenimiento y
servicio de maquinaria y
equipo

- Brindar un mantenimiento de acuerdo con especificaciones del fabricante al equipo, vehículos y maquinaria.
 - El mantenimiento a equipo, vehículos y maquinaria se realizará únicamente en talleres.
 - En caso sea necesario llevar a cabo una reparación del equipo o maquinaria en el frente de trabajo se deberá realizar sobre una superficie impermeabilizada. Los repuestos usados que se originen de esta reparación deberán ser manejados conforme a las medidas y consideraciones para el manejo de desechos.
 - Se deberá llevar un registro o bitácora de mantenimiento del equipo, vehículos y maquinaria.
-

Continuación tabla XXII.

Fauna	Colisión de aves con las líneas de transmisión.	Medidas y consideraciones para el manejo de flora y fauna	Proponente del proyecto y contratistas	Identificar las medidas a tomar para prevenir, mitigar o compensar los posibles impactos que el proyecto pueda generar a la fauna silvestre del área que ocupara el proyecto.
	Fragmentación del hábitat e incremento del efecto de borde.	Medidas de manejo para la fauna silvestre. A) Medidas preventivas: 1. Capacitar al personal de campo para que mantengan una actitud de respeto hacia la fauna silvestre del área del proyecto. 2. Evitar cortar innecesariamente la vegetación del área del proyecto. 3. Proteger o tapar pozos que se abran durante la construcción de las obras, para evitar atrapar fauna silvestre.		
	Perturbación de fauna local.			
	Restablecimiento de hábitat.	B) Medidas de mitigación: 1. Colocación de dispositivos desviadores de vuelo para aves en puntos identificados como vulnerables. 2. Realizar inspecciones periódicas durante la operación del proyecto para detectar posibles accidentes de aves con las líneas de transmisión. 3. Ahuyentar o reubicar especies de fauna que no sean capaces de migrar a áreas colindantes donde no habrá perturbación.		

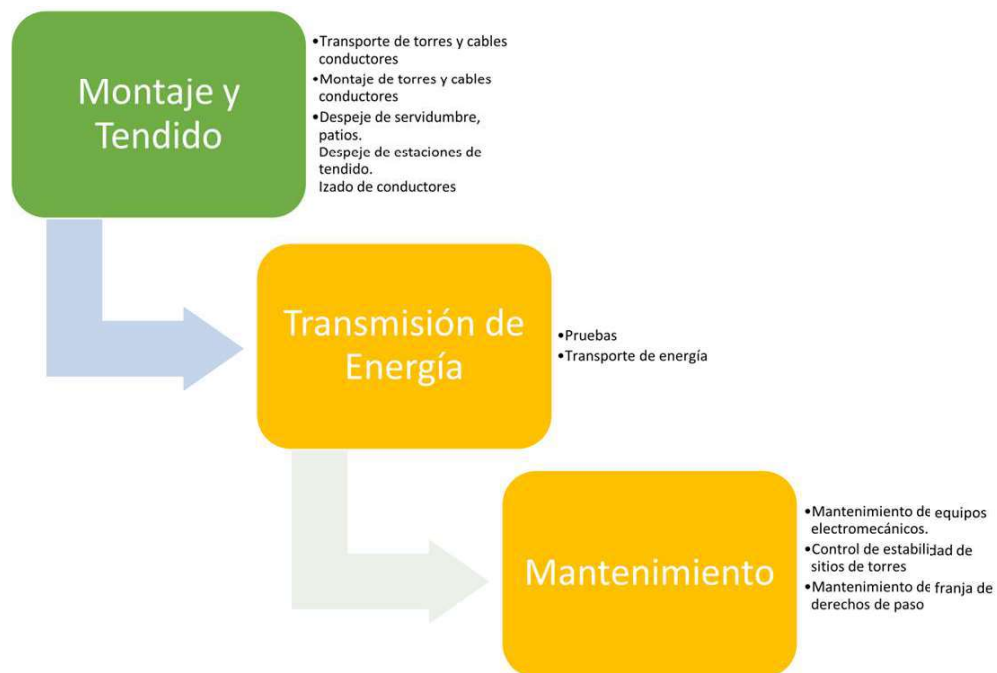
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

6.4. Guía ambiental

Como se describe anteriormente la Guía ambiental cuenta con un Manual de procedimientos para presentación y aprobación de guías ambientales el cual establece los requerimientos mínimos que esta debe incluir, como lo son: introducción, marco jurídico, descripción del proceso productivo, identificación y valoración de posibles impactos, plan de gestión ambiental, referencias y anexos.

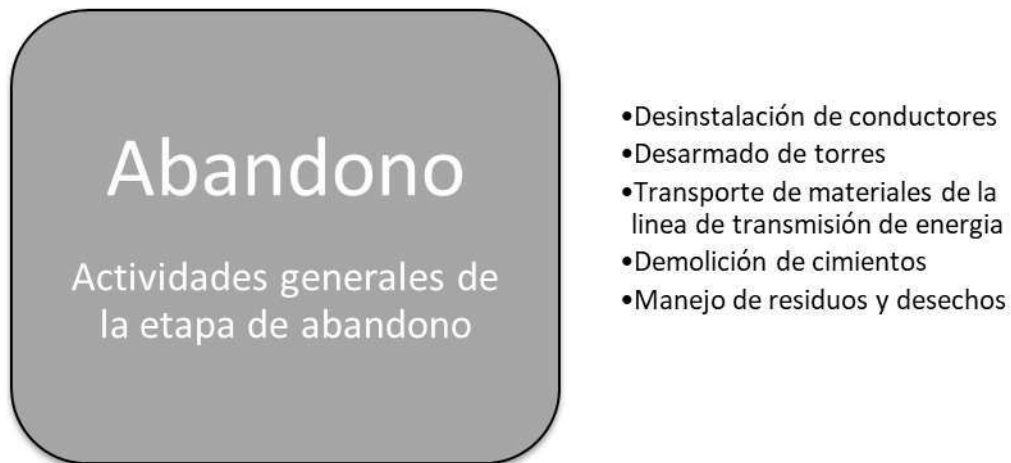
Para la descripción de los procesos productivos se tomaron en cuenta las siguientes actividades como se puede observar en los siguientes flujogramas.

Figura 4. **Flujograma de proceso, tendido y mantenimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Figura 5. **Flujograma etapa de cierre**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

En seguimiento a lo establecido por el manual a continuación, para cada uno de los siguientes factores ambientales se elaboraron planes de gestión ambiental los cuales conforman la guía para la evaluación ambiental de proyectos de líneas de transmisión de alta tensión en Guatemala, que fue el objeto de nuestro estudio, por lo que se ejemplifica el PGA de medidas y consideraciones para el manejo del suelo, el cual contiene objetivo del plan, medidas mitigación, etapa o etapas del proyecto en las aplica, prácticas recomendadas para la mitigación del impacto.

6.4.1. Objetivo

Reducir, controlar y evitar la erosión, y la contaminación innecesaria del suelo.

6.4.2. Etapas en las que aplica

Se describe las etapas en la que se aplican la más importante seria en la construcción.

6.4.3. Prácticas recomendadas para mitigar el impacto

Se desarrolla las practicas que se deben tomar en cuenta para poder mitigar el impacto que se evaluarán.

6.4.4. Erosión

Para reducir el impacto derivado de las actividades de construcción del Proyecto, las medidas y consideraciones contemplan la implementación de las siguientes actividades, aunque el diseño final y la selección de cada medida de control se ajustarán a las condiciones específicas del lugar y, se ajustarán a las condiciones topográficas de cada sitio:

- Previo a iniciar las actividades de habilitación de los sitios de construcción de los soportes de las líneas de transmisión y posibles accesos, se deberá proceder a su delimitación para evitar afectar áreas innecesarias.
- Evitar en la mayor medida posible la ubicación de estructuras en sitios inestables.
- Realizar estudios de suelos cuando sea necesario.

6.4.5. Contaminación del suelo

El principal riesgo de contaminación del suelo es el uso de maquinaria y equipo dado que podría existir fugas o derrames de hidrocarburos. Sin embargo, este no es un riesgo considerable dado que el Proyecto no contempla el almacenamiento de grandes volúmenes de hidrocarburos en los frentes de trabajo, la maquinaria recibirá mantenimiento preventivo y se implementarán las medidas y consideraciones para el manejo de hidrocarburos.

- En caso se requiera almacenar hidrocarburos en un frente de trabajo, estos deberán estar contenidos en recipientes especiales y los mismos no deberán ubicarse directamente sobre el suelo.
- En caso se almacenen hidrocarburos se utilizarán dispositivos de contención con capacidad del 110 % del volumen almacenado.
- Los colaboradores del proyecto deberán recibir la capacitación para el manejo de derrames de hidrocarburos.
- En caso se contamine el suelo se deberá proceder a remover lo contaminado y ubicarlo en un recipiente adecuado e identificado; estos deberán ser manejados y dispuestos como un desecho peligroso.
- En caso de existir, las casetas temporales, campamentos y frentes de obra deberán estar provistos de recipientes apropiados para la disposición de basuras (recipientes plásticos con tapa). Estas serán llevadas periódicamente al vertedero autorizado más cercano y se deberá contar con los registros correspondientes (cantidad de basura generada, disposición final, entre otros).

6.4.6. Alteración del subsuelo

El principal riesgo de alteración al subsuelo se deriva de las actividades de excavación para la instalación de la cimentación de los soportes de las líneas de transmisión. Para reducir el impacto derivado de las actividades de construcción del Proyecto, las medidas y consideraciones contemplan la implementación de las siguientes actividades, aunque el diseño final y la selección de cada medida de control se ajustarán a las condiciones específicas del lugar y, se ajustarán a las condiciones topográficas de cada sitio:

- Los materiales excedentes de las excavaciones se retirarán de las áreas de trabajo, protegiéndolos adecuadamente, y se colocarán en las zonas de depósito previamente seleccionadas o aquellas indicadas por el Supervisor Ambiental o encargado de la obra.
- El suelo orgánico será esparcido en los alrededores de donde se realizarán las excavaciones.
- El material del subsuelo será utilizado para rellenar las excavaciones luego de la construcción de las cimentaciones, ayudando a dar mayor estabilidad a la estructura.

Durante el presente trabajo también se desarrollaron los siguientes planes de gestión ambiental:

- Medidas y consideraciones para el acarreo de materiales.
- Medidas y consideraciones para la señalización preventiva.
- Medidas y consideraciones para la protección de agua superficial.

- Medidas y consideraciones para la prevención de la contaminación atmosférica.
- Medidas y consideraciones para la medición de radiaciones no ionizantes.
- Medidas y consideraciones para el manejo del derecho de paso de las líneas de transmisión.
- Medidas y consideraciones para el manejo de desechos sólidos.
- Medidas y consideraciones para el manejo de desechos líquidos.
- Medidas y consideraciones para el manejo de hidrocarburos.
- Medidas y consideraciones para el mantenimiento y servicio de maquinaria y equipo.
- Medidas y consideraciones para el rescate arqueológico.
- Medidas y consideraciones para el manejo de flora y fauna.
- Medidas y consideraciones para la socialización del proyecto.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación propone la utilización de la Guía Ambiental, la cual contiene los principales impactos relacionados con las variables ambientales como los son factores atmosféricos, hídricos, edáficos, fauna, floras, social, económico y cultural, para que sirva de referencia a proyectos futuros relacionados con las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en el país.

La valorización de los impactos ambientales fue realizada hacia las principales etapas identificadas para la etapa de construcción relacionado al factor atmosférico fueron evaluadas las siguientes actividades: incremento en la concentración de gases de combustión, incremento en la concentración de material particulado, incremento en los niveles de presión sonora, con relación al factor hídrico se identificó la alteración de la calidad del agua superficial. Para el factor edáfico se evaluó el cambio de uso de la tierra, compactación del suelo, contaminación por mal manejo de desechos, erosión, alteración al subsuelo.

Relacionado a la fauna para la fase de construcción se identificaron posibles impactos ambientales relacionados a la fragmentación del hábitat y el incremento del efecto de borde, perturbación de la fauna local, alteración de la composición y estructura vegetal, para el factor flora fue identificado la posible alteración de la composición y estructura vegetal.

Con relación a los factores sociales, económicos y culturales se identificó los posibles impactos relacionados en las actividades como: afectación de accesos, afectaciones al paisaje, afectación del patrimonio cultural,

generación de expectativas que se pueda dar por la ejecución del proyecto, generación de ingresos económicos, posibles accidentes durante las actividades laborales, pérdida de terrenos con fines agrícolas, potenciación de conflictos.

La valoración realizada para la etapa de operación fue identificados los impactos ambientales relacionados con los siguientes factores ambientales, para el factor atmosférico se identificó la generación de campos electromagnéticos y/o magnéticos, incremento de la concentración de material particulado y los niveles de presión sonora por el efecto de corona de la transmisión de energía eléctrica. Otro factor que se podría ver afectado es la fauna por la alteración de la composición y estructura vegetal al momento de realizar despejes para el mantenimiento de las servidumbres de paso, así como también la colisión de aves con las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión.

El factor flora fue evaluado por su relación con la alteración de la composición de la estructura vegetal. Y por último con relación a los factores sociales, económicos y culturales se identificaron impactos ambientales relacionados con las siguientes actividades como: afectación del paisaje, beneficios al sector energético del país, generación de ingresos por concepto de empleos y un posible riesgo por accidentes que se puedan suscitar durante las distintas actividades que se desarrollan.

También para la etapa de cierre fueron evaluados los posibles impactos que podrían generarse a los factores ambientales identificados siendo estos, al factor atmosférico el incremento en la concentración de gases por combustión de vehículos relacionados con la demolición, incremento en la concentración del material particulado y los niveles de presión sonora o ruido. Con el factor hídrico se identificó una posible afectación con la posible alteración de la calidad del

agua superficial. El factor edáfico se podría ver afectado por el cambio de uso de la tierra y por contaminación por el mal manejo de los desechos.

Siempre para la etapa de cierre la fauna y la flora se puede ver afectadas durante la ejecución de las siguientes actividades perturbación de la fauna por las actividades realizadas, impactos positivos identificados el restablecimiento de hábitat y la regeneración de la cobertura vegetal de las áreas afectadas inicialmente. Y con relación a los factores sociales, económicos y culturales los impactos identificados es la generación de ingresos económicos por concepto de generación de empleos, así como posibles afectaciones por accidentes laborales al momento de realizar las actividades y un impacto positivo identificado sería el restablecimiento del paisaje.

Como resultado de la evaluación se obtuvo que para la etapa de construcción se identificaron 20 potenciales impactos de 35 interacciones entre actividades y componentes, de los cuales según su carácter el 95 % son negativos y el 5 % son positivos. Según su valorización el 80 % de los impactos está interpretado en el rango de VIA bajo y un 20 % está en el rango interpretado como mediano. No hay impactos interpretados en el rango alto. Por lo que podemos indicar que durante esta etapa la mayoría de los impactos son bajos y de carácter negativo

Para la etapa de operación se identificaron 10 potenciales impactos de 10 interacciones entre actividades y componentes, de los cuales según su carácter el 80 % son negativos y el 20 % son positivos. Según su valorización el 60 % de los impactos está interpretado en el rango de VIA bajo y el 40 % está en el rango interpretado como mediano. No hay impactos interpretados en el rango alto. En resumen, podemos indicar que durante esta etapa la mayoría de los impactos son bajos y de carácter negativo.

En la etapa de cierre se identificaron 12 potenciales impactos de 12 interacciones entre actividades y componentes, de los cuales según su carácter el 67 % son negativos y el 33 % son positivos. Según su valorización el 84 % de los impactos está interpretado en el rango de VIA bajo, un 8 % está en el rango interpretado como mediano, y un 8 % interpretado en el rango alto. En resumen, podemos indicar que durante esta etapa la mayoría de los impactos son bajos y de carácter negativo.

Con los resultados obtenidos se procedió a elaborar la guía ambiental bajo lo estipulado en el Manual de Procedimientos para Presentación de Aprobación de Guías Ambientales aprobado bajo el Acuerdo Ministerial No. 349-2017. En el cual se establece como aspectos a considerar para la elaboración de guías ambientales sectoriales o subsectoriales las siguientes secciones: introducción en la cual se hace una breve descripción de qué motivo o impulso presentar la guía ambiental, marco jurídico que contemple todos los aspectos jurídicos de la normativa nacional vigente en temas ambientales y las normativas específicas asociadas a las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión.

Posteriormente se procedió a realizar una descripción del sector energético que es al que pertenecen las líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, y dentro de este se procedió a definir y categorizar conforme a los procesos que ocurren dentro esta actividad. Luego se procedió a la descripción de las actividades principales, así como los procedimientos de apoyo y las actividades interrelacionadas.

Una vez identificadas las actividades se procedió a la incorporación de la valoración de los posibles impactos para los factores ambientales o aspectos ambientales los cuales se definieron para los elementos de las actividades, el factor ambiental se puede haber visto afectado por uno o varios impactos

ambientales. Posterior fue incluido la determinación de los impactos o relacionados a los cambios al medio ambiente, de manera total o parcial de los factores ambientales que la actividad pueda causar, esto actividad como se describe se realiza por el método VIA.

Una vez completado todos estos aspectos identificados por el Manual de Procedimientos para Presentación de Aprobación de Guías Ambientales procedió a la elaboración de Planes de Gestión Ambiental -PGA- que consiste en un conjunto de operaciones técnicas o acciones propuestas que tiene como objetivo asegurar la operación de un proyecto, enmarcado dentro de las normas técnicas, legales y ambientales para prevenir, corregir o mitigar los impactos o riesgos ambientales negativos y asegurar la mejora continua.

Basados en lo anterior la guía ambiental está conformada por el compendio de planes de gestión ambiental, fueron elaborados 13 planes de gestión ambiental que proporcionan las principales medidas de mitigación, para cada una de las fases de proyecto, con lo que se busca poder tener homogeneización en los impactos ambientales identificados y una mejor control y seguimiento de estos, completando de esta manera el instrumento en referencia.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló la guía ambiental para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión, que facilitara la evaluación de próximos instrumentos ambientales que se desarrollen en el país.
2. Se identificaron los principales requisitos establecidos en la legislación con relación a proyectos de líneas de transmisión eléctrica, identificando que existen normativas marco como la Constitución Política de la República de Guatemala, la Ley General de Electricidad y normativas específicas en materia ambiental como la Ley Forestal, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Ley de Áreas Protegidas entre otras.
3. Se determinaron los impactos ambientales más significativos al momento de la construcción, operación y mantenimiento de un proyecto de líneas de transmisión de alta tensión, siendo los principales factores ambientales identificados: factores atmosféricos, hídricos, edáficos, flora, fauna, social, económico y culturales, utilizando la metodología de Valoración de Impactos Ambientales concluyendo que de los 42 impactos evaluados el 17 % genera un impacto positivo y el 83 % restante genera un impacto de valoración negativa, más sin embargo vale la pena aclarar que el 80 % de estos se valorizan con una categoría baja y el 20 % restante en categoría media, no existiendo ningún impacto negativo considerado alto.
4. Se establecieron cuales son las principales medidas de mitigación a los impactos identificados para los factores ambientales, tomando como premisa que las mismas respondan de una manera efectiva a la restitución

de las afectaciones, en las distintas etapas del proyecto entre las cuales podemos mencionar de manera referencial para la etapa de operación el monitoreo de los campos electromagnéticos o radiaciones no ionizantes su control y seguimiento basados en el cumplimiento de los acuerdos gubernativos número 008-2011 y sus modificaciones en el acuerdo número 313-2011 las cuales son los parámetros máximos de exposición y su periodicidad de muestreo. Para la etapa de construcción la conservación y rescate arqueológico es una de las actividades que se deben mitigar por lo que se contempla como medida de mitigación contar con un arqueólogo que pueda realizar los trabajos de rescate del patrimonio cultural y que a la vez registre ese proyecto de rescate ante las autoridades competentes que para este caso sería el Instituto de Antropología e Historia. De la misma forma se desarrollaron las medidas de mitigación identificadas y para lo cual fueron elaborados distintos planes de gestión ambiental.

5. Se definió la guía ambiental para líneas de transmisión de alta tensión, bajo los principales parámetros establecidos en para Guatemala en Manual de Procedimientos para la Presentación y Aprobación de Guías Ambientales, Acuerdo Ministerial No. 349-2017, permitiendo la evaluación, identificación, mitigación, control y monitoreo de los impactos de una manera sistematizada y homogénea.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar las medidas de mitigación identificadas en la guía ambiental para la evaluación y ejecución de proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, que se lleven a cabo en el país.
2. Implementar las medidas de control y seguimiento ambiental, lo que permitirá tener un mejor monitoreo en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el país.
3. Continuar con el proceso de registro e institucionalización de la guía ambiental ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para que la misma sea aplicada a todos los proyectos de construcción de líneas de transmisión eléctrica.
4. Implementar como parte de las políticas de los sistemas de expansión de transporte de energía eléctrica la guía elaborada, con la cual se homogenizan los factores a evaluar y sus potenciales impactos al ambiente, así como las medidas de mitigación y el costo aproximado de su implementación.
5. Utilizar el presente estudio como fuente de consulta para el desarrollo de proyectos similares.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo No. 137-2016. Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Diario de Centroamérica. Guatemala. 12 de julio de 2016.
2. Acuerdo Ministerial No. 204-2019. Listado Taxativo de Proyectos, Obras, Industrias o Actividades. Diario de Centroamérica. Guatemala. 16 de agosto de 2019.
3. Acuerdo Ministerial No. 349-2017. Manual de Procedimientos para la Presentación y Aprobación de Guías Ambientales. Diario de Centroamérica. Guatemala. 25 de enero de 2018.
4. Aguilar, J. (2013). *Modelo predictivo para la evaluación del impacto ambiental en proyectos basados en la matriz de Leopold*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
5. Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *Guía de buenas prácticas para líneas de transmisión y de distribución de energía eléctrica para hábitats naturales críticos*. Estados Unidos: Autor.
6. Decreto 93-96. Ley General de Electricidad. Diario de Centroamérica Guatemala. 15 de noviembre de 1996.
7. Decreto No. 101-96. Ley Forestal. Diario de Centroamérica. Guatemala. 4 de diciembre de 1996.

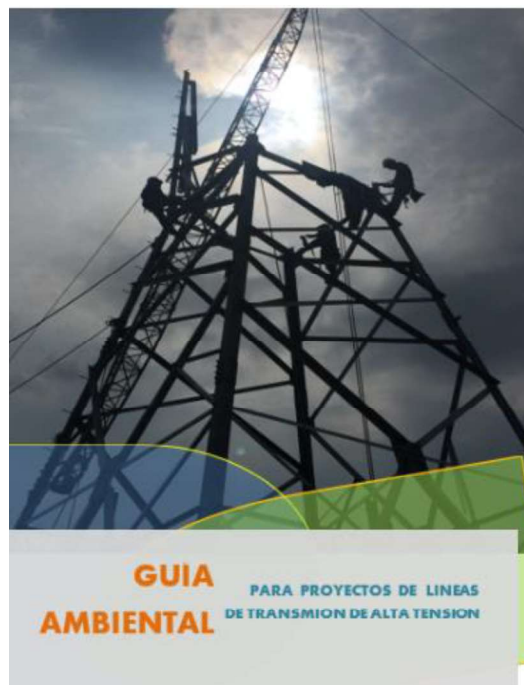
8. Decreto No. 2-2015. Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala -Ley Probosque-. Diario de Centroamérica. Guatemala. 27 de octubre de 2015.
9. Decreto No. 4-89. Ley de Áreas Protegidas. Diario de Centroamérica. Guatemala. 10 de febrero de 1989.
10. Decreto No. 68-86. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Diario de Centroamérica. Guatemala. 5 de diciembre de 1986.
11. Espinoza, M., Espinoza, J. y Saddam, H. (2018). *Manual de aplicación para la construcción de líneas de transmisión eléctrica*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.
12. Gonzalez-Longatt, F. (2016). *Capítulo 1. Elementos de líneas de transmisión aéreas*. Notodden, Noruega: University of South-Eastern Norway.
13. Hernandez, A. y Morales, F. (2005). *Diseño de torres de transmisión*. México: Instituto Politécnico Nacional.
14. Lainez, L. (2013). *Requerimientos para la fabricación de postes metálicos con sección octogonal para el uso de planta externa en el campo de la ingeniería civil* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

15. Leon, J. (2004). *Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
16. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Manual de procedimientos para presentación y aprobación de guías ambientales*. Guatemala: Autor.
17. Ministerio de Ambiente. (2017). *Términos de referencia estándar para estudio de impacto ambiental generación, transmisión y distribución de energía eléctrica*. Ecuador: Autor.
18. Ministerio de Energía (2016). *Documento de orientación sobre la gestión de impactos paisajísticos de proyectos de líneas de transmisión eléctrica y sus subestaciones en el marco del SEIA, en consideración de la guía de valor paisajístico en el SEIA, SEA 2013*. Chile: Autor.
19. Quezada, J. (2005). *Metodología de construcción de líneas de transmisión eléctrica*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
20. Rodríguez, H. (2016). *Guía de impacto ambiental para infraestructuras de líneas de transmisión de alta tensión* (Tesis de doctorado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
21. Sostenible, I. I. (2016). *Manual de capacitación sobre la evaluación del impacto ambiental*. Winnipeg, Canadá: Autor.

22. Toro, J., Martinez, L. y Martelo, C. (2016). *Metodología para la Evaluación de Impactos Ambientales*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Guía ambiental para proyectos de líneas de transmisión de alta tensión**



[Link de la guía](#)

Fuente: elaboración propia.