



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

**IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO  
ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN  
LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Ing. Luis Alejandro González Barrios**  
Asesorado por el MSc. Ing. Luis Rodolfo Castro García

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO  
ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN  
LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. LUIS ALEJANDRO GONZÁLEZ BARRIOS**

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN GESTIÓN DE MERCADOS ELÉCTRICOS REGULADOS**

GUATEMALA, ENERO 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 Armando 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
DIRECTOR	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:

**IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO  
ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN  
LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de noviembre de 2020.

**Ing. Luis Alejandro González Barrios**

Facultad de Ingeniería

Decanato  
24189101-  
24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.011.2022

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: **IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por: **Luis Alejandro González Barrios**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados, 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, enero de 2022

AACE/gaoc



**Guatemala, enero de 2022**

LNG.EEP.OI.011.2022

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:

**“IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA”**

presentado por **Luis Alejandro González Barrios** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; 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, 07 de agosto de 2021.

**M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA”** del estudiante **Luis Alejandro González Barrios** quien se identifica con número de carné **008712339** del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
Coordinador  
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC





Universidad de San Carlos de  
Guatemala Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, 06 agosto de 2021

Ingeniero MSc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela 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 de trabajo de graduación del estudiante **Luis Alejandro González Barrios**, Carné número **008712339**, cuyo título es "**IMPACTO AMBIENTAL Y DE SALUD PÚBLICA DE LOS PROYECTOS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO POR EXPOSICIÓN A RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestro en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, he procedido a la revisión del mismo.

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

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Rodolfo Castro García'.

Luis Rodolfo Castro García  
INGENIERO QUÍMICO  
MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA  
COLEGIADO No. 1591

M.Sc. Ingeniero Químico Luis Rodolfo Castro García  
Asesor de Trabajo de Graduación

Cc: Archivo/LA

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la razón de mi vida, mi compañía, mi fortaleza y mi refugio.
- Mis padres** Rodolfo Gustavo González (q. e. p. d.) y Zoila Irma Barrios Pérez de González (q. e. p. d.), por su inmenso amor y dedicación.
- Mis hijos** María Alejandra y Luis Estuardo González, porque a través de ustedes percibo la belleza de la vida y la supremacía de Dios en mi vida.
- Mis hermanos** Gustavo, Mónica, Lisbeth, Pablo y Cindy Gonzáles, por su amor y apoyo incondicional.
- Mis cuñados** Gracias por su cariño, apoyo y respeto.
- Mis sobrinos** Ana Lucía, Andrea, Daniel, Gustavo, Paula, Santiago, Sthefie (q. e. p. d.) y Ximena González; Jimena Castillo; Ellen y Jan Roest, por hacerme sentir un tío querido. Gracias por su cariño.
- Mis amigos** En especial a Johanna Castillo, por su amistad y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera profesional.
<b>Escuela de Estudios de Postgrado</b>	Por la oportunidad de adquirir y expandir mis conocimientos, enseñarme a ser creativo, y a pensar de una manera diferente, para coadyuvar a la mejora de mi país.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. Luis Castro, por la disposición y apoyo brindado en la realización del presente trabajo.
<b>Mis profesores</b>	Por ser parte de mi formación, a quienes admiro y respeto por su calidad humana y profesional.
<b>Mis compañeros</b>	Por ser de importante influencia a lo largo de esta maestría.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Estudios previos .....	1
1.2. Antecedentes.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Sistema Eléctrico Nacional .....	5
2.1.1. Sistema de transmisión .....	6
2.1.2. Sistema de distribución.....	6
2.1.3. Niveles de tensión en las redes eléctricas .....	6
2.1.4. Sistema Nacional Interconectado .....	11
2.1.5. Plan de expansión del sistema .....	11
2.1.6. Servidumbres.....	12
2.1.7. Plan indicativo de electrificación rural.....	12
2.2. Radiaciones.....	13
2.2.1. Electricidad y magnetismo .....	14
2.2.2. Ondas electromagnéticas .....	15

2.2.3.	Radiación ionizante y no ionizante .....	16
2.2.4.	El transporte de electricidad .....	16
2.2.5.	Normativa nacional.....	16
2.2.6.	Salud de las personas .....	17
2.2.7.	Salud y seguridad ocupacional.....	17
2.2.8.	Exposición a las radiaciones .....	17
2.2.9.	Normativa de radiaciones no ionizantes.....	18
2.2.10.	Mandato interinstitucional.....	18
2.3.	Normativa ambiental de los proyectos .....	18
2.3.1.	Límites de exposición de la población en general ...	19
2.3.2.	Límites de exposición para trabajadores .....	20
2.4.	Normativa internacional en radiaciones electromagnéticas .....	21
2.4.1.	Efectos sobre la salud y el ambiente .....	22
2.4.2.	Mediciones de los campos electromagnéticos .....	24
2.4.3.	Equipos de medición .....	25
2.4.4.	Protocolos de medición .....	25
2.4.5.	Autorización para realizar mediciones.....	25
2.4.6.	Evaluaciones ambientales.....	26
2.5.	Ciclo de proyectos.....	26
2.5.1.	Proyectos del sector eléctrico.....	26
2.5.2.	Identificación de involucrados .....	27
2.5.3.	Procesos de validación nacionales .....	28
2.5.4.	Los proyectos de suministro eléctrico .....	29
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	33
3.1.	Características del estudio .....	33
3.1.1.	Diseño .....	33
3.1.2.	Enfoque.....	34
3.1.3.	Alcance.....	34

3.1.4.	Unidad de análisis .....	34
3.2.	Variables de estudio .....	34
3.3.	Fases del diseño de investigación .....	36
3.3.1.	Fase 1 .....	36
3.3.2.	Fase 2 .....	36
3.3.3.	Fase 3 .....	37
3.3.4.	Fase 4 .....	37
3.4.	Técnicas de análisis de información .....	37
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	41
4.1.	Factores de reducción del impacto ambiental .....	41
4.2.	Límites de exposición .....	42
4.3.	Factores de disminución de demoras .....	49
4.4.	Factores de disminución de oposición .....	50
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	51
5.1.	¿Cómo se puede lograr la reducción del impacto ambiental en las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico? .....	51
5.2.	¿De qué manera se puede lograr la reducción del impacto de salud pública en las poblaciones cercanas a los proyectos de suministro eléctrico? .....	53
5.3.	¿Cómo se pueden disminuir las demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico? .....	54
5.4.	¿Cómo se puede lograr la disminución de oposición y conflicto a la ejecución de proyectos de suministro eléctrico? .....	55

5.5.	¿Cómo controlar la exposición de la población y el ambiente a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, para disminuir el impacto ambiental y de salud pública? .....	56
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES .....	61
	REFERENCIAS .....	63
	APÉNDICES.....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Árbol de problemas .....	XIV
2.	Red de transmisión en 230 kV y 400 kV .....	7
3.	Red de transmisión en 138 kV y 69 kV .....	8
4.	Principales distribuidoras y zonas de autorización .....	9
5.	Índice de cobertura eléctrica por departamentos .....	12
6.	Usuarios y proyectos por departamento.....	13
7.	Espectro electromagnético.....	14
8.	Vector de Poynting.....	15
9.	Perfil de medición longitudinal y lateral (en metros).....	44
10.	Diagrama de flujo proceso relativo a RNI entre MARN-MEM.....	52
11.	Diagrama de flujo proceso relativo a RNI entre MSPAS-MEM.....	54

### TABLAS

I.	Empresas eléctricas municipales .....	10
II.	Límites de exposición para población en general.....	20
III.	Límites de exposición para trabajadores .....	21
IV.	Involucrados en los proyectos del sector eléctrico .....	27
V.	Clasificación de las variables .....	35
VI.	Factores de reducción de impacto ambiental .....	41
VII.	Límites de exposición para público en general.....	42
VIII.	Límites de exposición para trabajadores .....	43
IX.	Valores perfil longitudinal línea 230 kV .....	44

X.	Valores perfil lateral línea 230 kV .....	45
XI.	Valores perfil longitudinal línea 69 kV .....	45
XII.	Valores perfil lateral línea 69 kV .....	46
XIII.	Valores perfil longitudinal subestación 69 kV .....	46
XIV.	Valores perfil lateral subestación 69 kV .....	46
XV.	Valores de exposición en líneas de 230 kV .....	47
XVI.	Valores de exposición en líneas de 69 kV .....	47
XVII.	Valores de exposición en subestación de 69 kV .....	48
XVIII.	Factores de disminución de demoras .....	50
XIX.	Factores de disminución de oposición .....	50

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>E</b>	Campo eléctrico
<b>B</b>	Campo magnético
<b>ELF</b>	Campos de Frecuencia Extremadamente Baja
<b>CEM</b>	Campos electromagnéticos
<b>eV</b>	Electrón voltio
<b>f</b>	Frecuencia
<b>FEB</b>	Frecuencia Extremadamente Baja
<b>FI</b>	Frecuencia Intermedia
<b>GHz</b>	Gigahercio
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>Hz</b>	Hercio
<b>J</b>	Joule
<b>kHz</b>	Kilohercio
<b>km</b>	Kilómetro
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>LT</b>	Línea de transmisión
<b>MHz</b>	Megahercios
<b>MW</b>	Megavatio
<b>m</b>	Metro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>RNI</b>	Radiaciones No Ionizantes
<b>RF</b>	Radiofrecuencias

<b>s</b>	Segundo
<b>T</b>	Tesla
<b>V</b>	Voltaje
<b>V/m</b>	Voltios por metro

## GLOSARIO

<b>ADN</b>	Ácido desoxirribonucleico, ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos.
<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Comunidad</b>	Conjunto de personas que viven en un determinado lugar.
<b>Conductividad eléctrica</b>	Capacidad que tiene un material de permitir el paso de corriente eléctrica.
<b>DGE-MEM</b>	Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas.
<b>ICNIRP</b>	Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>INIRC</b>	Comité Internacional de Radiación No Ionizante.

<b>Ionización</b>	Fenómeno químico o físico mediante el cual los átomos o moléculas quedan cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra.
<b>IRPA</b>	Asociación Internacional de Protección Radiológica.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>MSPAS</b>	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>Protocolo</b>	Conjunto de procedimientos para realizar un trabajo.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>UNEP</b>	Programa de Naciones Unidas para el Ambiente.

## RESUMEN

El presente estudio consistió en la determinación de los mecanismos de control de exposición de la población y el ambiente, a las radiaciones electromagnéticas que se generan por los proyectos de suministro eléctrico en el país.

El estudio se basó en las características técnicas de la infraestructura de los proyectos de suministro eléctrico en relación al tipo de radiaciones que generan, para lo cual se consideraron las tecnologías y condiciones de operación de los mismos dentro del sistema eléctrico nacional.

No se consideraron las radiaciones electromagnéticas naturales y de fuentes artificiales diferentes a las generadas por los sistemas de transporte y de distribución eléctrica, las cuales contribuyen a elevar el nivel del fondo radiactivo en el cual el ser humano y el ambiente interactúan.

Se identificaron los factores de reducción de impacto ambiental y de salud pública de los proyectos de suministro eléctrico asociados a la determinación de los límites de exposición, de conformidad con la normativa internacional y la legislación aplicable.

Fue necesario auxiliarse del conocimiento de las radiaciones electromagnéticas, sus efectos, considerando la cobertura territorial propia de los proyectos de suministro eléctrico bajo los cuales se desarrolla esta infraestructura, condicionada a la dimensión social y ambiental.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la presente sección, se aborda el contexto general del estudio, el problema, su formulación, las preguntas de investigación y su delimitación.

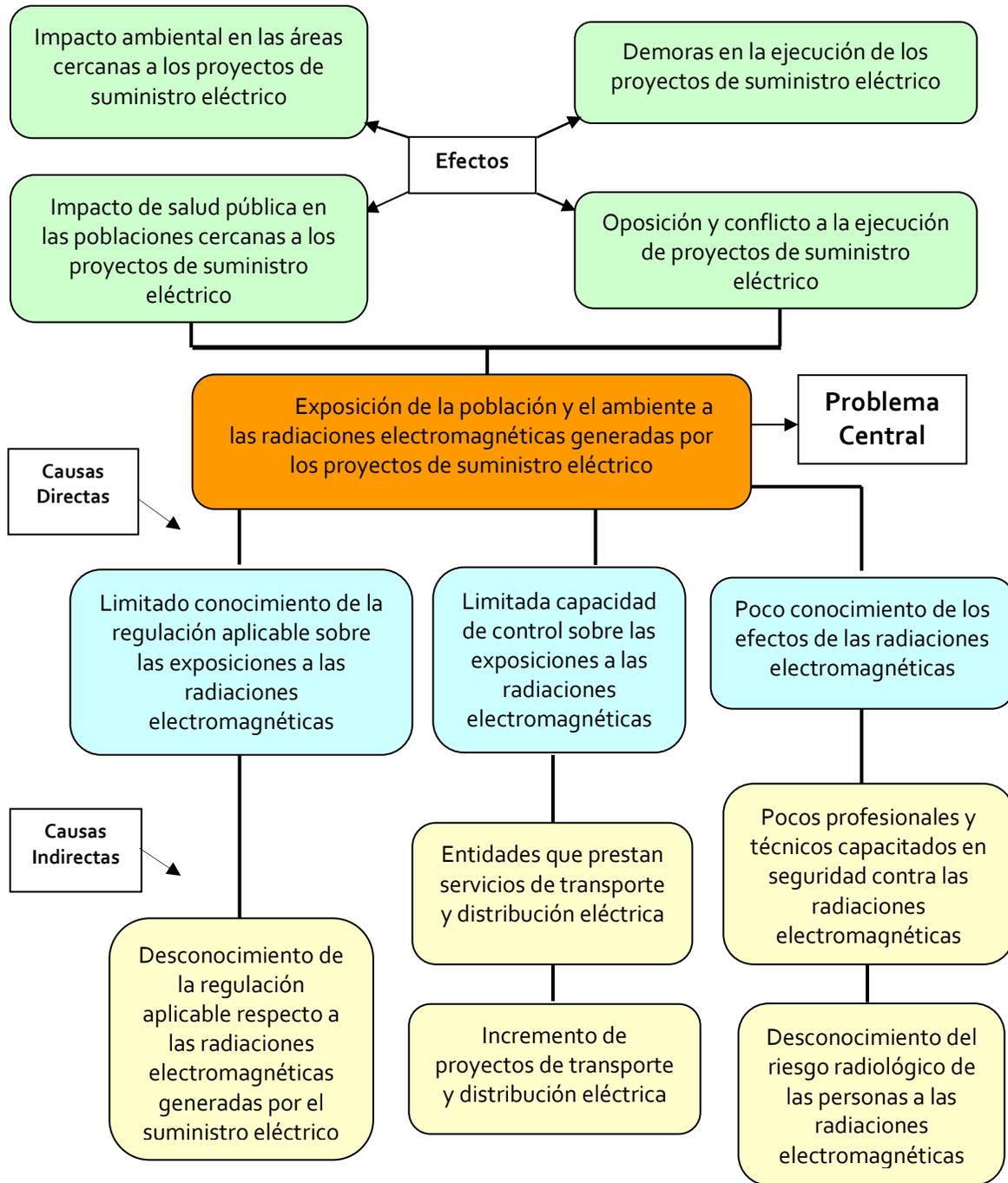
- Contexto general

Dentro de los proyectos de suministro eléctrico, relativos al transporte y distribución eléctrica, frecuentemente se presentan retrasos en la ejecución, mantenimiento o ampliación, relacionados con el temor de las poblaciones a los posibles efectos de las radiaciones electromagnéticas, sobre las personas y el ambiente, generadas por las líneas de transmisión y subestaciones de transformación.

- Descripción del Problema

El problema principal determinado es la exposición de la población y el ambiente a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico. Esto derivado de la limitada capacidad de control sobre las exposiciones a este tipo de radiación, limitado conocimiento de la regulación aplicable y poco conocimiento de sus efectos, que pueden generar un impacto negativo, tanto ambiental como de salud pública, sobre las áreas y poblaciones cercanas a los proyectos, así como provocar demoras y oposición en la ejecución, operación y mantenimiento de los mismos.

Figura 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Formulación del problema

Con el contexto general y la descripción del problema, se formuló la pregunta de investigación central, con la cual se abordó el trabajo de graduación, siendo la siguiente:

- Pregunta central

¿Cómo controlar la exposición de la población y el ambiente a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, para disminuir el impacto ambiental y de salud pública?

El complemento que requirió la interrogante central contempló las preguntas auxiliares siguientes:

- ¿Cómo se puede lograr la reducción del impacto ambiental en las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico?
- ¿De qué manera se puede lograr la reducción del impacto de salud pública en las poblaciones cercanas a los proyectos de suministro eléctrico?
- ¿Cómo se pueden disminuir las demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico?
- ¿Cómo se puede lograr la disminución de oposición y conflicto a la ejecución de proyectos de suministro eléctrico?

- Delimitación del problema

En el presente trabajo, el problema se delimitó de forma contextual, geográfica e histórica.

- Delimitación contextual

La investigación se contextualizó en el ámbito de las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, y las variables consideradas fueron las relacionadas con la disminución del impacto ambiental y de salud pública.

- Delimitación geográfica

La investigación se enfocó en los proyectos de suministro eléctrico, específicamente para los de sistemas de transmisión y sistemas de distribución, respecto a las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas de transformación, en la República de Guatemala.

- Delimitación histórica

La delimitación histórica se realizó en base al criterio del investigador, de acuerdo a las características de la infraestructura de los sistemas de transmisión y distribución utilizadas en el país a través de los años, las características del sistema nacional eléctrico actual, y a los cambios en las normativas que regulan las exposiciones electromagnéticas.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar el mecanismo de control de la exposición de la población y el ambiente a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, para disminuir el impacto ambiental y de salud pública.

### **Específicos**

1. Identificar los factores de reducción del impacto ambiental en las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico.
2. Cuantificar los límites de exposición para la reducción del impacto de salud pública en las poblaciones cercanas a los proyectos de suministro eléctrico.
3. Identificar los factores de disminución de las demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico.
4. Determinar los factores de disminución de oposición y conflicto a la ejecución de proyectos de suministro eléctrico.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Diseño

El diseño adoptado fue no experimental, debido a que se utilizó la información del sistema eléctrico nacional, de acuerdo a las características de las tecnologías y condiciones de operación de los sistemas de transmisión y distribución.

- Enfoque

El enfoque del estudio propuesto fue cuantitativo, dado que se basó en los tipos de infraestructura de los proyectos de suministro eléctrico y su clasificación normativa correspondiente.

- Alcance

El alcance fue descriptivo, ya que se centró en describir los aspectos relacionados con las variables del estudio que permiten a las personas relacionadas en el diseño de proyectos con relación a campos electromagnéticos, conocer las diversas actividades a realizar y sus implicaciones.

- Unidad de análisis

La unidad de análisis en estudio fueron los proyectos de suministro eléctrico, asociados a los sistemas de transporte y distribución eléctrica. La muestra consideró las condiciones de operación según el nivel de tensión y

frecuencia que utilizan, a partir de lo cual fue posible el cálculo de los valores límites de radiaciones electromagnéticas.

- Las variables estudiadas fueron

Radiaciones electromagnéticas, impacto ambiental, impacto de salud pública, pérdidas económicas, y oposición a los proyectos.

A continuación, se presentan las fases del estudio y las técnicas de análisis de información:

- Fase 1: En la fase de revisión, se realizó la búsqueda, revisión y consulta de fuentes de información relacionadas con los efectos en el ambiente, de las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico, los cuales sirvieron para identificar los factores de reducción del impacto ambiental.
- Fase 2: En la fase de descripción, se recopiló la información relacionada a los fenómenos electromagnéticos generados por los proyectos de suministro eléctrico, que, con base en la normativa nacional e internacional, contribuyeron a la cuantificación de los límites de dosis de las radiaciones electromagnéticas. Los informes y estudios publicados, así como la información técnica disponible, orientó sobre el proceso de cálculo de los parámetros de campo eléctrico y campo magnético.
- Fase 3: Para la fase de recolección, en función de la información recopilada en la fase anterior, se identificaron los factores que inciden en la disminución de las demoras en la ejecución de los proyectos, de acuerdo a los distintos tipos de tecnologías utilizadas.

- Fase 4: En la fase de análisis, tomando en cuenta la naturaleza de la cobertura territorial intrínseca del suministro eléctrico y los elementos que inciden sobre la dimensión social y ambiental, se realizó la determinación de los factores que contribuyen a la oposición y conflicto de los proyectos de suministro eléctrico, considerando los elementos comunes que causan temor en las personas, principalmente.
- Técnicas de análisis de información: Para cumplir con los objetivos de esta investigación fue necesario utilizar estadística descriptiva, para la obtención de las características generales de las variables de estudio identificadas, con la finalidad de presentar la información relacionada al problema de la investigación de manera organizada y sintetizada, la cual permitió comprender el contexto general de la relación de los proyectos de suministro eléctrico con las radiaciones electromagnéticas, a través de la comparación con sus valores límite permitidos.



## INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos esenciales para el desarrollo de un país, es el acceso a la electricidad, lo cual es posible gracias al sistema eléctrico nacional, dentro del cual la energía eléctrica es transportada a través del sistema de transmisión, y del sistema de distribución, que incluye a las líneas de transmisión y subestaciones de transformación.

El desarrollo de la infraestructura eléctrica requiere de la realización de proyectos de suministro eléctrico, los cuales buscan el beneficio integral para las partes interesadas, considerando el impacto ambiental y de salud pública a que están sujetos. En el caso de los proyectos de transporte y distribución, la incidencia es mayor, debido al elemento de cobertura territorial que poseen, dado el objetivo de llevar la energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los puntos de consumo.

Fue necesario considerar dentro del diseño de estos proyectos, el fenómeno de los campos electromagnéticos generados por las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas, mediante el conocimiento de las posibles consecuencias, así como de los valores límites establecidos, dependiendo de las características técnicas de la infraestructura involucrada.

Dentro del presente trabajo de investigación se abordó el impacto sobre el ambiente y las personas, por la exposición a las radiaciones electromagnéticas, con la finalidad de que los proyectos consideren desde su diseño, las potenciales dificultades que pueden presentarse dentro de la ejecución de los mismos. Este tema normalmente no es abordado en profundidad y genera que los proyectos

de transporte y distribución eléctrica sean detenidos o retrasados por largos períodos de tiempo, generando costos significativos, así como un estancamiento en el desarrollo del país.

En el primer capítulo se describe el sistema eléctrico nacional, los sistemas de transmisión y distribución, los niveles de tensión que se manejan y los planes de expansión y electrificación nacional, que ayudan a dimensionar la cantidad de proyectos de suministro eléctrico necesarios.

En el segundo capítulo se desarrolló ampliamente el fenómeno de las radiaciones electromagnéticas y la relación con la salud de las personas y el ambiente. En el tercer y cuarto capítulo se abordan las normativas ambientales y de radiaciones electromagnéticas. En el siguiente capítulo se considera el ciclo de los proyectos de suministro eléctrico, con el objeto de considerar sus etapas para lograr una gestión integral que considere los efectos de las radiaciones electromagnéticas.

Finalmente, en las secciones de presentación y discusión de resultados, mediante la interpretación debidamente contextualizada y a la luz de los datos obtenidos, se comparan los valores determinados contra los límites permitidos, y en las secciones finales, se presentan las conclusiones y recomendaciones pertinentes, en donde se alcanzan los resultados esperados del presente trabajo.

## **1. MARCO REFERENCIAL**

El propósito del presente marco referencial fue recopilar información sobre estudios previos y antecedentes en relación al tema de estudio, lo cual resultó ser de utilidad debido a que se lograron identificar vacíos e interrogantes por explorar para la debida justificación del trabajo de investigación presentado.

### **1.1. Estudios previos**

En cuanto a estudios previos que aborden de forma integral, aspectos de impacto ambiental y de salud pública para el desarrollo de proyectos de suministro eléctrico en relación a la exposición de radiaciones electromagnéticas en Guatemala, cabe mencionar que el presente estudio es pionero en el tema. Sin embargo, fue relevante presentar antecedentes asociados a las temáticas que influyen en la problemática identificada, que si bien es cierto lo consideran desde enfoques separados, contribuyeron a dar a conocer la necesidad de realizar un estudio de esta naturaleza, para contribuir al desarrollo del subsector eléctrico del país.

### **1.2. Antecedentes**

Según lo que indica Alba (2018), a pesar de que los campos electromagnéticos podrían causar daños a los seres vivos, no existen muchas entidades o instituciones que se dediquen a este tipo de investigaciones.

Las radiaciones generadas por los campos eléctrico-magnéticos fueron estudiadas por la *International Radiation Protection Association* (IRPA por sus

siglas en inglés), que, mediante un equipo de trabajo, realizaron una revisión exhaustiva sobre los problemas presentados por estos campos, para la protección contra los diversos tipos de estas radiaciones, conocidas como Radiaciones No Ionizantes (RNI). Posteriormente “este grupo de trabajo se convirtió en el Comité Internacional para las Radiaciones No Ionizantes (INIRC)”. (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*, 2006, p. 1).

En cooperación con la División de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la IRPA / INIRC, desarrolló un número de documentos sobre criterios de salud en relación a las RNI, como parte del Programa de Criterios de Salud Ambiental de la OMS, auspiciado por el Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP). Estos criterios de salud han proveído la base de datos científicos para el subsiguiente desarrollo de los límites de exposición y los códigos de práctica relacionados.

En el Octavo Congreso Internacional de la IRPA (Montreal, mayo del 18-22, 1972), fue establecida una nueva organización científica independiente, la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), como sucesora de la IRPA / INIRC. Las funciones de la Comisión son investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de RNI, desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición para las RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI. (ICNIRP, 2006, p. 1)

Actualmente, dentro de la regulación nacional vigente, existe la normativa nacional que establece los valores límites de las radiaciones electromagnéticas, la cual tiene una amplia variedad de consideraciones incluyendo las relacionadas

al trabajador ocupacionalmente expuesto, por motivo de su trabajo en los proyectos de transporte y distribución eléctrica, como para para el público en general. Adicionalmente, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, establece lo procedente respecto al manejo de los distintos tipos de radiaciones.

El mapa del sistema nacional interconectado de Guatemala, Según Sigui (2018), nos da elementos para determinar las características técnicas del sistema de transporte y distribución eléctrica motivo de este estudio.

Los proyectos de transporte eléctrico, dada su naturaleza, suelen estar fuertemente condicionados a la dimensión social y ambiental. Debido a los planes de expansión del transporte de energía eléctrica en el país, generados por la demanda creciente, algunos sectores de la población han desarrollado una seria preocupación por los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes del sistema de suministro de energía eléctrica (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Sin embargo, la OMS (2016) hace referencia a que es preciso indicar que todas las personas, estamos en un estado de exposición permanente a una mezcla compleja de campos electromagnéticos a muchas frecuencias diferentes, en el hogar y en el trabajo.



## **2. MARCO TEÓRICO**

Según Ministerio de Energía y Minas (2020) debido a la demanda de energía eléctrica en el país, se tiene la necesidad de ampliar el sistema eléctrico nacional, a través del sistema de suministro eléctrico, respecto al sistema de transmisión y distribución, lo cual implica llevar la infraestructura eléctrica a lo largo del territorio nacional a través de proyectos de suministro. Durante este proceso se interactúa con las poblaciones y el ambiente.

Es en este punto, en donde las personas se encuentran ante algunas interrogantes sobre los beneficios que estas obras de infraestructura les pueden traer a sus comunidades y el grado de afectación sobre la salud de sus habitantes y el ambiente, que puedan favorecer o generar obstáculos en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico, que son necesarios para el desarrollo del país. Se busca a través del presente capítulo presentar los conceptos básicos para desarrollar el trabajo de investigación respecto a las variables de investigación identificadas, y en general sobre los temas que son fundamentales conocer para poder llegar a presentar conclusiones que den respuesta al problema de investigación presentado.

### **2.1. Sistema eléctrico nacional**

En el Decreto 93-96 (1996) establece al sistema eléctrico nacional como:

El conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación

del servicio, interconectados o no, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país. (p. 5)

### **2.1.1. Sistema de transmisión**

En el Decreto 93-96 (1996) establece al sistema de transmisión como “el conjunto de subestaciones de transformación y líneas de transmisión, entre el punto de entrega del generador y el punto de recepción del distribuidor o de los grandes usuarios y comprende un sistema principal y sistemas secundarios” (p. 5).

### **2.1.2. Sistema de distribución**

En el Decreto 93-96 (1996) establece al sistema de distribución como “el conjunto de líneas y subestaciones de transformación de electricidad, destinadas a efectuar la actividad de distribución y que funcionen a los voltajes que especifique el reglamento” (p. 5).

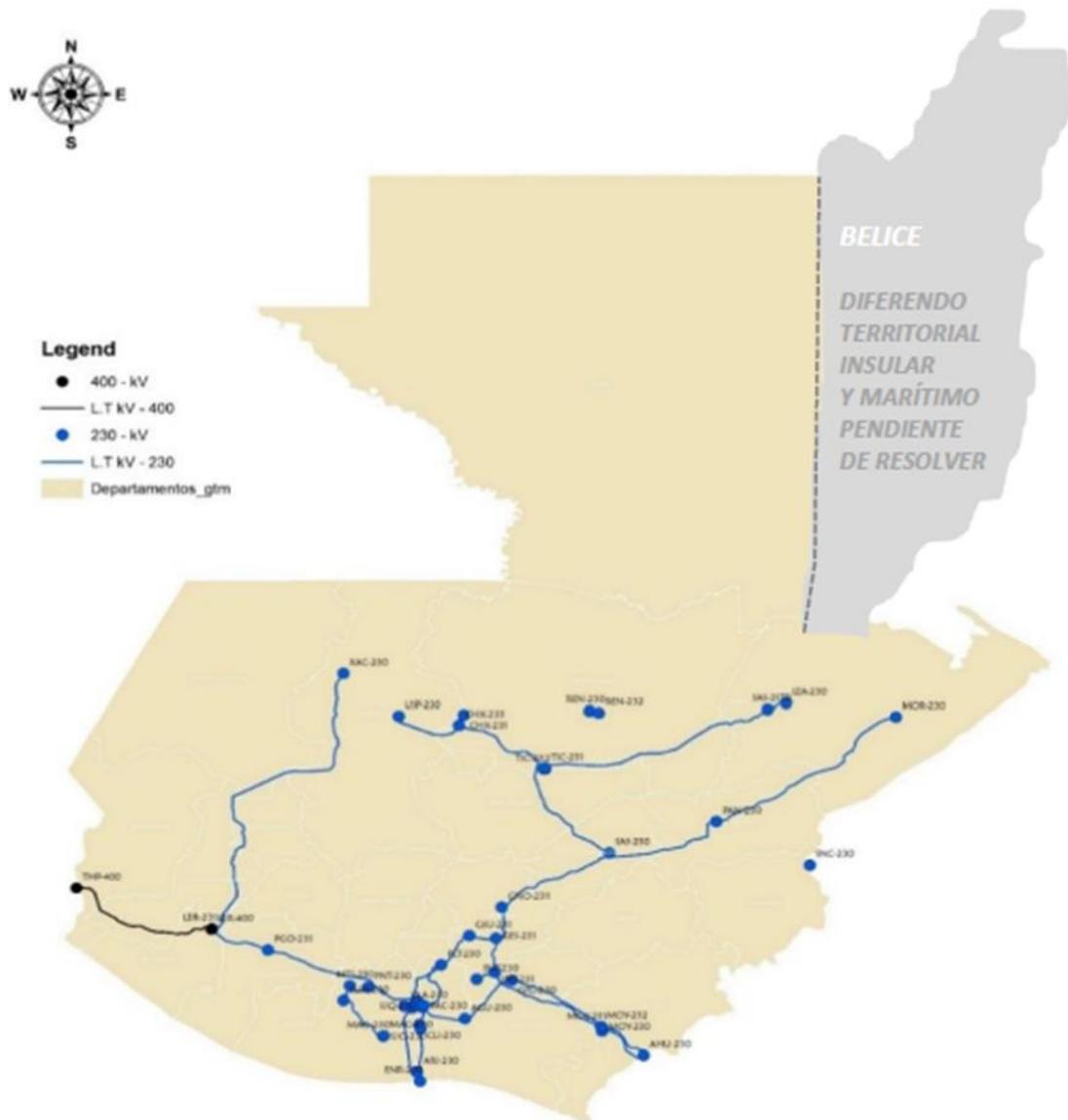
### **2.1.3. Niveles de tensión en las redes eléctricas**

Los niveles de tensión eléctrica (voltaje), que se manejan en el país en la red de transporte y distribución, están clasificados en alta, media y baja tensión.

Según la regulación vigente, alta tensión se clasifica en un nivel superior a sesenta mil (60,000) Voltios; media tensión a la superior a mil (1,000) voltios, y menor o igual a sesenta mil (60,000) voltios, y baja tensión en un nivel igual o inferior a mil (1,000) Voltios.

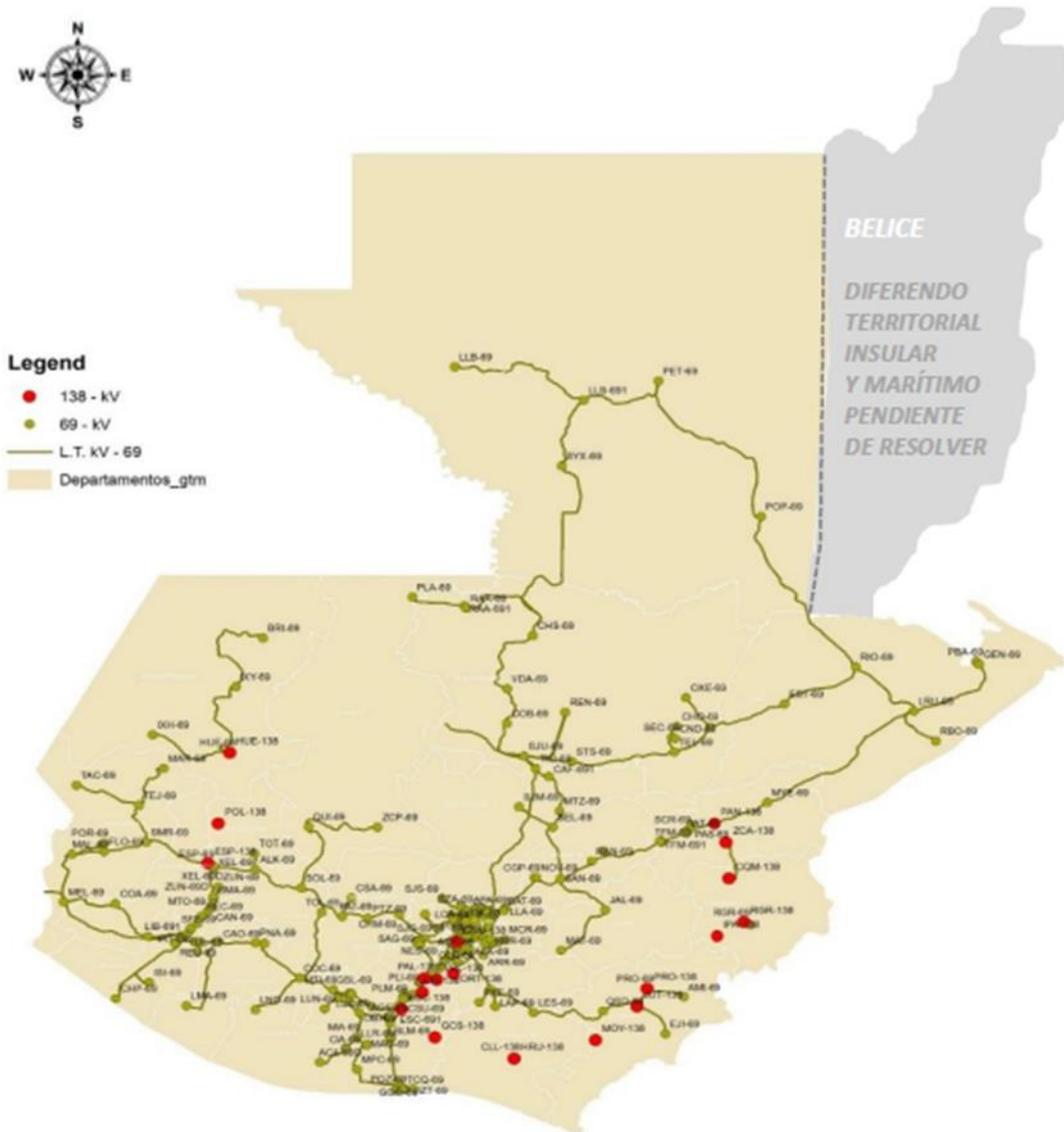
En las siguientes imágenes se observa la composición de la red de transmisión nacional y las tensiones que se manejan en el país.

Figura 2. Red de transmisión en 230 kV y 400 kV



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050*.

Figura 3. Red de transmisión en 138 kV y 69 kV



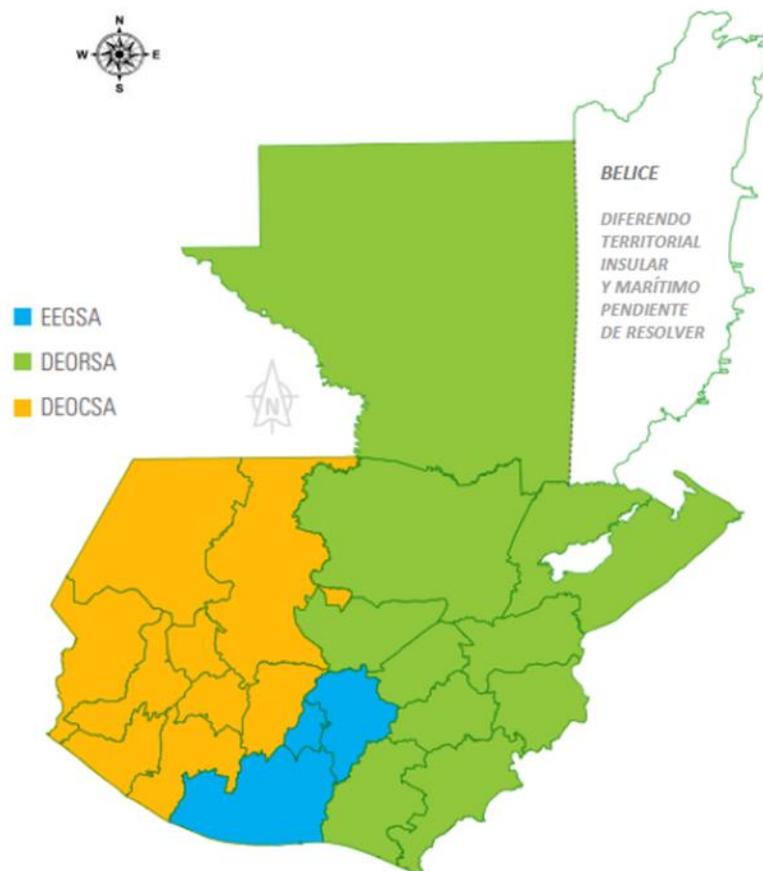
Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050*.

En Guatemala, los valores de alta tensión se encuentran en 400 kV, 230 kV, 138 kV y 69 kV, y se utilizan para el sistema de transmisión; en media tensión los

comprendidos en 7.9 kV, 13.8 kV y 34.5 kV, y en baja tensión los voltajes de 110 y 220 voltios, utilizados para el sistema de distribución.

La distribución es realizada en el país, principalmente por tres agentes: Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima –EEGSA; Distribuidora de Electricidad de Oriente –DEORSA, y Distribuidora de Electricidad de Occidente –DEOCSA, como se observa en la siguiente figura.

Figura 4. Principales distribuidoras y zonas de autorización



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050*.

Adicionalmente existen empresas eléctricas municipales que prestan el servicio de distribución, siendo actualmente, las que se indican en la siguiente tabla.

Tabla I. **Empresas eléctricas municipales**

No.	EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL
1	Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango
2	Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos
3	Empresa Eléctrica Municipal Rural de Electricidad, Ixcán
4	Empresa Eléctrica Municipal de Retalhuleu
5	Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez, departamento de San Marcos
6	Empresa Eléctrica Municipal "Río Yulshác" de Santa Eulalia
7	Empresa Eléctrica Municipal de Gualán
8	Empresa Eléctrica Municipal de Guastatoya
9	Empresa Eléctrica Municipal de Jalapa
10	Empresa Eléctrica Municipal de Joyabaj
11	Empresa Eléctrica Municipal de Puerto Barrios
12	Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula
13	Empresa Eléctrica Municipal de Zacapa
14	Empresa Eléctrica Municipal de Zacualpa
15	Empresa Eléctrica Municipal de Cruz de Paliatz, Joyabaj, Quiché
16	Empresa Eléctrica Municipal San Sebastián, San Marcos
17	Empresa Eléctrica Municipal de Piedra Parada, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos
18	Empresa Eléctrica Municipal Manzonotes, Zacapa
19	Empresa Eléctrica Municipal de San Pablo, Zacapa
20	Empresa Eléctrica Municipal de Palma, Zacapa
21	Empresa Eléctrica Municipal de El Guayabo, Zacapa
22	Empresa Eléctrica Municipal de San Jorge, Zacapa
23	Empresa Eléctrica Municipal Santa Lucía, Zacapa
24	Empresa Eléctrica Municipal de Santa Rosalia, Zacapa
25	Empresa Eléctrica Municipal de Pie de la Cuesta, Zacapa
26	Empresa Eléctrica Municipal de Piedras Negras, Puerto Barrios
27	Empresa Eléctrica Municipal Quebrada Seca, Puerto Barrios
28	Empresa Eléctrica Municipal El manantial, Puerto Barrios
29	Empresa Eléctrica Municipal de Las Pavas, Puerto Barrios
30	Empresa Eléctrica Municipal de Punta de Palma, Puerto Barrios
31	Empresa Eléctrica Municipal de Tacaná

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050.*

Considerando las actividades que los transportistas, distribuidoras y empresas eléctricas municipales realizan, se puede tener una dimensión de la relevancia que tienen los proyectos de suministro eléctrico poseen, debido a que a través de ellos se desarrolla la infraestructura eléctrica.

#### **2.1.4. Sistema Nacional Interconectado**

En el Decreto 93-96 (1996) establece al sistema nacional interconectado como “la porción interconectada del sistema eléctrico nacional” (p. 5).

#### **2.1.5. Plan de expansión del sistema**

Según el Ministerio de Energía y Minas (2020) el plan de expansión del sistema de generación y transporte es realizado de forma bianual por el ente rector en el país, el Ministerio de Energía y Minas, considerando las proyecciones de demanda de energía y potencia para un horizonte de largo plazo, con el objetivo de abastecer esta demanda de forma económicamente eficiente y garantizar el suministro del Sistema Nacional Interconectado.

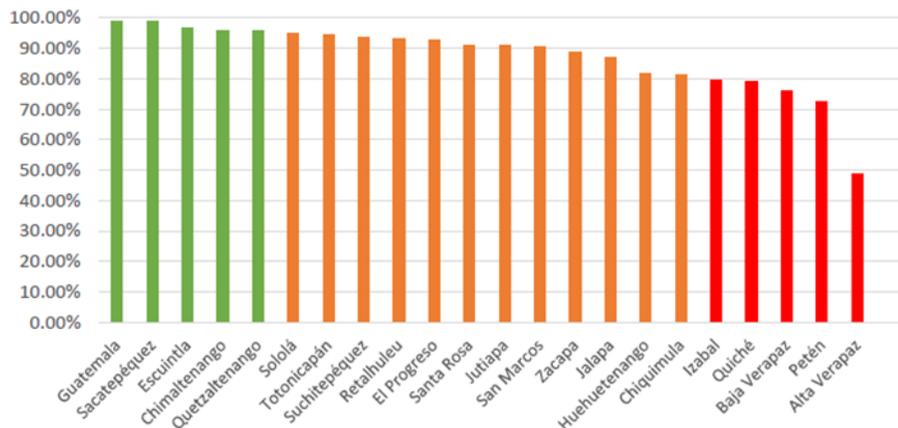
En este tipo de planes se consideran los proyectos eléctricos en curso, así como los aspectos normativos del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, y los aspectos técnicos establecidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con la finalidad de buscar el desarrollo integral del país.

En la siguiente imagen se puede observar el índice de cobertura eléctrica por departamentos. Con la información del censo 2018, el Ministerio de Energía y Minas, determinó que el 88.14 % de los hogares en el país tienen acceso a la red de electricidad nacional.

### 2.1.6. Servidumbres

En el Decreto 93-96 (1996) establece que “se tendrán como servidumbres legales de utilidad pública todas aquellas que sea necesario constituir teniendo como fin la construcción de obras e instalaciones para la generación, transporte y distribución de energía eléctrica” (p. 5). Estas servidumbres, se consideran en el presente trabajo como el espacio sobre el cual se ubica la infraestructura eléctrica, para la seguridad de las personas y para su operación y mantenimiento.

Figura 5. Índice de cobertura eléctrica por departamentos



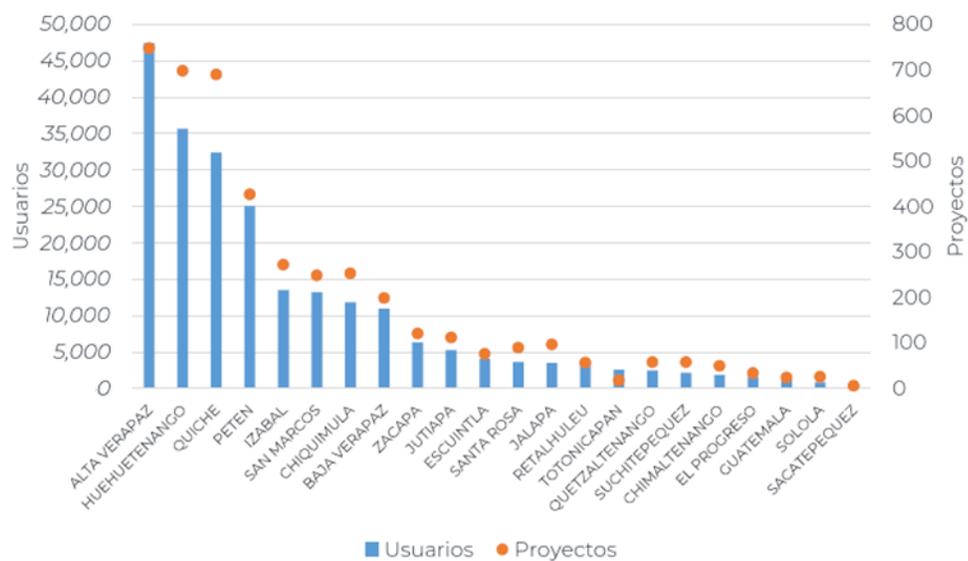
Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050*.

### 2.1.7. Plan indicativo de electrificación rural

En el plan indicativo de electrificación rural, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, indica que se “realiza un análisis del marco legal, técnico y financiero existente para la ejecución de proyectos de electrificación rural” (Ministerio de Energía y Minas, 2020, p. 6).

En la siguiente imagen se puede observar la cantidad de usuarios que se han identificado por medio del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), para los proyectos en cartera. Los primeros diez departamentos engloban cerca de un 88 % de los usuarios identificados, lo cual suma 3,769 proyectos.

Figura 6. **Usuarios y proyectos por departamento**

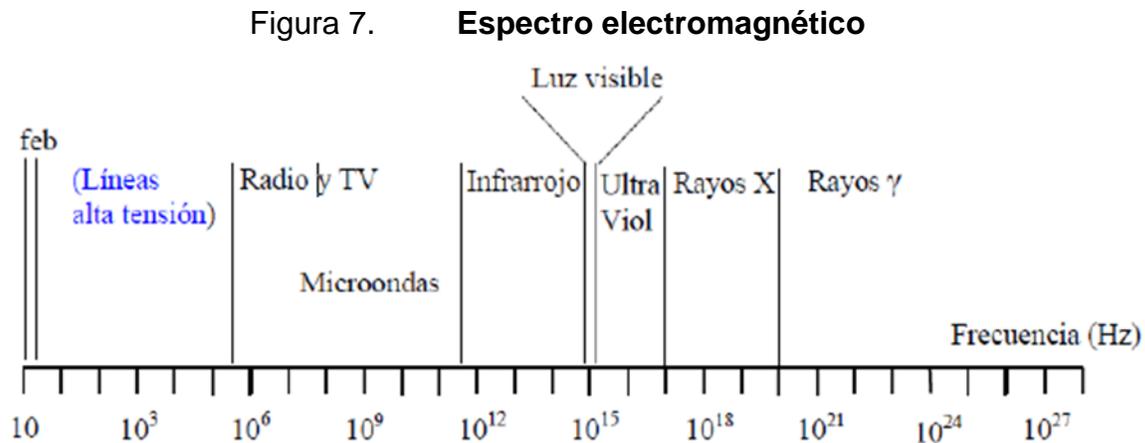


Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan Indicativo de Electrificación Rural 2020-2050*.

## 2.2. Radiaciones

La radiación es el transporte o la propagación de energía en forma de partículas u ondas. Si la radiación es debida a fuerzas eléctricas o magnéticas se llama radiación electromagnética.

En la imagen siguiente se observa la clasificación de las radiaciones electromagnéticas en función de su frecuencia de oscilación (ciclos por segundo o hercios) o de su longitud de onda (metros).



Fuente: Gómez. (2015). *Calidad Ambiental Electromagnética*

### 2.2.1. Electricidad y magnetismo

“La electricidad es una de las formas en que se manifiesta la energía y se obtiene de otras fuentes energéticas llamadas primarias, como pueden ser las energías térmicas producidas mediante la combustión de diversas materias fósiles” (Grupo Pandora, S.A., 2001, p. 9).

Básicamente es un fenómeno físico cuyo origen son las cargas eléctricas y cuya energía se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos, entre otros, se considera como un flujo de electrones.

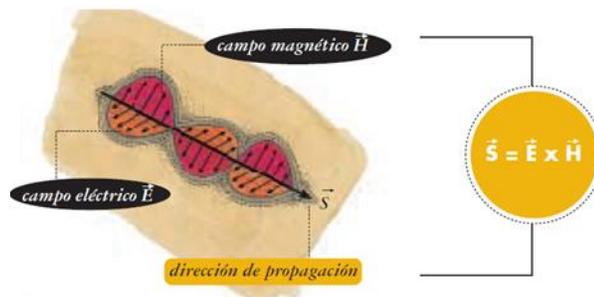
Cuando una carga eléctrica se encuentra en reposo y en movimiento, generan fenómenos eléctricos como magnéticos, los cuales se estudian a través de la teoría electromagnética.

### 2.2.2. Ondas electromagnéticas

Los campos electromagnéticos tienen la propiedad de transmitir energía a grandes distancias por medio de ondas, en ausencia de cualquier medio natural.

“Esta energía se asocia con el producto vectorial del campo eléctrico y del magnético, denominado Vector de Poynting, que representa la densidad de flujo de energía de una onda electromagnética por unidad de tiempo” (Grupo Pandora, S.A., 2001, p. 17).

Figura 8. Vector de Poynting



Fuente: Grupo Pandora, S.A. (2001). *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*.

### **2.2.3. Radiación ionizante y no ionizante**

Las radiaciones ionizantes son fotones o partículas emitidas por elementos radioactivos o en procesos atómicos que poseen energía suficiente como para ionizar átomos o moléculas.

Las radiaciones no ionizantes incluyen a las radiaciones y campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para producir ionización de la materia. “Caracterizado porque la energía por fotón es menos que 12 eV (electrón voltio), las longitudes de onda mayores de 100 nm (nanómetros), y frecuencias más bajas de  $3 \times 10^{15}$  Hz” (ICNIRP, 2006, p. 47).

### **2.2.4. El transporte de electricidad**

El transporte a largas distancias requiere voltajes elevados, para alcanzar eficiencias razonables pese al efecto Joule, en donde se utilizan estaciones transformadoras, tanto desde los centros de generación a la red de transporte, como de ésta a la red de distribución, que es la que utilizan los usuarios finales (a media o baja tensión).

### **2.2.5. Normativa nacional**

Existen diferentes normativas tanto a nivel nacional como internacional respecto al impacto ambiental y de salud pública, en relación con la afectación por las radiaciones electromagnéticas.

### **2.2.6. Salud de las personas**

En el Código de Salud de Guatemala en su sección IV de las fuentes radiactivas, equipo generador de radiaciones ionizantes, no ionizantes y personas expuestas a las radiaciones, establece en el artículo 206 que “es obligatorio cumplir las disposiciones que dicte el Ministerio de Energía y Minas, a través de la autoridad competente, en materia de radiaciones directa e indirectamente ionizantes con el propósito de evitar los accidentes por causa de radiación” (Decreto 90-97, 1997, p. 34).

### **2.2.7. Salud y seguridad ocupacional**

En todo lugar de trabajo que por la índole de su labor tengan que exponerse a radiaciones ionizantes y no ionizantes, se debe de cumplir con lo que disponga el Acuerdo Gubernativo o Ministerial vigente en la materia en Guatemala, desde la importación, colocación y funcionamiento de la fuente emisora sea sanitaria o industrial. (Acuerdo Gubernativo 229-2014, 2014 p. 28)

### **2.2.8. Exposición a las radiaciones**

Ninguna persona por razones de ocupación, ni la población en general, deberá ser sometida al riesgo de exposición de radiaciones ionizantes y no ionizantes, que exceda los límites de dosis establecidos internacionalmente y los fijados a nivel nacional por el Ministerio de Energía y Minas a través de su dependencia competente. (Decreto 90-97, 1997, p. 35)

### **2.2.9. Normativa de radiaciones no ionizantes**

El Ministerio de Energía y Minas, a través de su dependencia competente, la Dirección General de Energía, emitió el Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes

El presente reglamento tiene como objeto establecer los límites y los mecanismos de control para la exposición de la población en general y los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones no ionizantes, cuya frecuencia no sea mayor que trescientos gigahercios (300 GHz), provenientes de las fuentes que emitan estas radiaciones. (Acuerdo Gubernativo 8-2011, 2011, p. 1)

### **2.2.10. Mandato interinstitucional**

Mantener la vigilancia del control de los límites de radiaciones no ionizantes corresponde al Ministerio de Energía y Minas, a través de su dependencia competente, la Dirección General de Energía, quien deberá coordinar sus actuaciones con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

## **2.3. Normativa ambiental de los proyectos**

Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por

técnicos en la materia y aprobado por la comisión del Medio Ambiente.  
(Decreto 68-86, 1986, p. 3)

Por otra parte, la normativa vigente respecto al control de los límites de radiaciones electromagnéticas establece que el MARN debe solicitar en los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental, el dictamen favorable del MEM, para todas las instalaciones que emitan este tipo de radiaciones.

### **2.3.1. Límites de exposición de la población en general**

Los límites de exposición de la población en general a las radiaciones no ionizantes están establecidas en el Reglamento para el establecimiento y control de los límites de radiaciones no ionizantes, que en su artículo 6, literal A, se indican como límites, en función de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, expresados como valores cuadráticos medios, medidos en campos no perturbados, lo cual se puede observar en la siguiente imagen.

Tabla II. **Límites de exposición para población en general**

Rango de frecuencias	Intensidad de Campo eléctrico (V/m )	Intensidad de Campo magnético (A/m )	Densidad de Flujo Magnético (pT)	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )
Hasta 1 Hz	--	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	..
1-8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^{1/f2}$	$4 \times 10^{1/f2}$	--
8 Hz - 25 Hz	10,000	4,000/f	5,000/f	--
0.025-0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	--
0.8 - 3 kHz	250/f	5	6.25	--
3-150 kHz	87	5	6.25	--
0.15 - MHz	87	0.73/f	0.92/f	--
1-10 MHz	$87/f^{0.5}$	0.73/f	0.92/f	--
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 - 2,000 MHz	$1.375f^{0.5}$	$0.000371f^{0.5}$	$0.0046f^{0.5}$	f/200
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2011). *Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes.*

### 2.3.2. Límites de exposición para trabajadores

Los límites de exposición para trabajadores ocupacionalmente expuestos se establecen en el Reglamento para el establecimiento y control de los límites de radiaciones no ionizantes, que en su artículo 7, literal A, se indican como límites, en función de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, expresados como valores cuadráticos medios, medidos en campos no perturbados, lo cual se puede observar en la siguiente imagen.

Tabla III. Límites de exposición para trabajadores

Rango de frecuencias	Intensidad de Campo eléctrico ( $V/m^{-1}$ )	Intensidad de Campo magnético ( $A/m^{-1}$ )	Densidad de Flujo Magnético (pT)	Densidad de potencia ( $W/m^2$ )
Hasta 1 Hz	--	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	--
1-8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^{4/f^2}$	$2 \times 10^{5/f^2}$	--
8 Hz - 25 Hz	20,000	$2 \times 10^{4/f^2}$	$2.5 \times 10^{4/f^2}$	--
0.025-0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	--
0.82-65 kHz	610	24.4	30.7	--
0.065-1 MHz	610	$1.6/f$	$2/f$	--
1-10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2/f$	--
10-400 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	$3f^{0.5}$	$0.008f^{0.4}$	$0.01/f^{0.5}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2011). *Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes.*

#### 2.4. Normativa internacional en radiaciones electromagnéticas

A nivel internacional existe la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). Las funciones de la Comisión son investigar los peligros que pueden ser asociados con las diferentes formas de Radiaciones No Ionizantes, desarrollar recomendaciones internacionales sobre límites de exposición para las RNI, y tratar todos los aspectos sobre protección contra las RNI.

Adicionalmente la Organización Mundial de la Salud (OMS), como parte de su mandato de proteger la salud pública, y en respuesta a la preocupación pública por los efectos sobre la salud de la exposición a los campos electromagnéticos

(CEM), creó en 1996 el Proyecto Internacional CEM, para evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz. Este Proyecto fomenta las investigaciones dirigidas a rellenar importantes lagunas de conocimiento y a facilitar el desarrollo de normas aceptables internacionalmente que limiten la exposición a CEM.

A este respecto, según el mandato respecto a la salud de las personas, se indica que:

De acuerdo con la constitución de la OMS, la salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social y no meramente la ausencia de afecciones o enfermedades. En concordancia con este concepto ampliado de salud se considera un efecto adverso sobre la salud cualquier efecto biológico que conduzca a enfermedades o que si bien intrínsecamente no sea patológico pero que afecte el bienestar físico, mental y social de las personas. (Cruz, 2009, p. 12)

Esta iniciativa se ubica en la sede de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Ginebra (Suiza), con la característica del mandato específico sobre la investigación de los efectos de las radiaciones no ionizantes sobre la salud de las personas.

#### **2.4.1. Efectos sobre la salud y el ambiente**

Los estudios de efectos biológicos y en la salud por exposición a los campos electromagnéticos se iniciaron en la década de 1950 y actualmente la base de datos del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene un total de 247 estudios para frecuencias extremadamente bajas, de los cuales 154 son para frecuencias

de redes de energía eléctrica. La evaluación de efectos biológicos y en la salud en el Perú se basó en los documentos mencionados. En los estudios revisados se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia de los campos y corrientes eléctricas inducidos. (Cruz, 2009, p. 105)

Los reportes científicos que se hayan realizado en animales deben ser validados para poder extrapolar sus efectos en seres humanos.

Así también se deben evaluar todos los efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre la población, flora, fauna, suelo, aire, agua y factores climáticos principalmente.

Para Cruz (2009) una forma de evaluarlos es por medio de tomar en cuenta los niveles de exposición a las radiaciones no ionizantes, que generan las instalaciones de suministro eléctrico, como las líneas de transmisión, de distribución y sus subestaciones de transformación.

Debido a la extensión de las servidumbres o derechos de vía de los proyectos de suministro eléctrico, dependiendo del manejo adecuado, pueden generar daños al ambiente o beneficios. Desde el punto de vista de la vegetación, el desbroce del área de servidumbre y la infraestructura instalada, así como el mantenimiento, pueden afectar la continuidad del uso de la tierra, y en áreas remotas incentivar actividades humanas. Por otro lado, pueden fomentar lugares de reproducción, en donde los mamíferos y aves puedan encontrar alimento, inclusive las estructuras pueden albergar nidos para las aves.

Daños principalmente a las aves se presentan al ser electrocutadas o cuando por falta de visibilidad chocan contra los cables del tendido eléctrico,

situación que se puede evitar al colocar dispositivos físicos que ayuden a visibilizar las estructuras.

También se deben considerar otros aspectos para estudios futuros, que, por la naturaleza de la presente investigación, no fueron abordados, sin embargo, fueron identificados. Entre estos, se encuentra la fragmentación del hábitat, causado por el área de servidumbre de la infraestructura eléctrica, que genera una barrera temporal, principalmente para especies de anfibios, reptiles, aves e invertebrados; la limitación de dispersión de especies de plantas; la generación del efecto de borde, para el caso de la cobertura forestal densa, cuando se abren espacios físicos, lo que cambia la dinámica del ecosistema, pudiendo permitir el ingreso de especies que no son propios de ese hábitat, tanto de fauna y flora.

#### **2.4.2. Mediciones de los campos electromagnéticos**

La normativa vigente específica, en su artículo 12, establece que “las mediciones que se elaboren con el objeto de demostrar el cumplimiento de los límites establecidos deben ser elaborados por las personas debidamente autorizadas por la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas” (Acuerdo Gubernativo 8-2011, 2011, p. 6).

Las mediciones se enfocan a nivel mundial campos estáticos (0 Hz), de frecuencia extremadamente baja, conocidos como FEB, con un rango de 0 a 300 kHz, de frecuencias intermedias, conocidas como FI, con un rango de frecuencia mayor a 300 Hz hasta 10 MHz, y de radiofrecuencia, denominadas RF, con un rango de frecuencia de 10 MHz a 300 GHz.

### **2.4.3. Equipos de medición**

“Los equipos utilizados para efectuar mediciones, deben ser específicos para su uso en la cuantificación de los niveles de los parámetros asociados a la exposición a radiaciones no ionizantes y estar debidamente calibrados, conforme las especificaciones de los fabricantes” (Acuerdo Gubernativo 8-2011, 2011, p. 6).

### **2.4.4. Protocolos de medición**

El Ministerio de Energía y Minas, a través de su dependencia competente, ha establecido los protocolos de medición autorizados, específicamente para campos eléctricos y magnéticos.

Las radiaciones electromagnéticas asociadas a las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas se consideran dentro de las clasificadas como de frecuencia extremadamente baja, FEB, o de categoría de muy baja frecuencia, ELF.

### **2.4.5. Autorización para realizar mediciones**

El Ministerio de Energía y Minas, a través de su dependencia competente, ha establecido los procedimientos de autorización de personas individuales y/o jurídicas para la realización de mediciones de radiaciones no ionizantes a nivel nacional.

#### **2.4.6. Evaluaciones ambientales**

Las evaluaciones ambientales, deben incluir los efectos previsibles directos o indirectos de los proyectos sobre las poblaciones y su entorno. Estas evaluaciones deben contemplar los efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre las personas y el ambiente.

### **2.5. Ciclo de proyectos**

Ciclo de proyecto conjunto de fases o etapas que cubren el desarrollo de un proyecto, obra, industria o actividad; siguiendo una secuencia lógica temporal, las principales fases son: concepción de la idea, prefactibilidad, factibilidad, diseño, construcción, operación, así como las ampliaciones o modificaciones y, eventualmente, el cierre. (Acuerdo Gubernativo 137-2016, 2016, p. 3)

#### **2.5.1. Proyectos del sector eléctrico**

Para los proyectos del sector eléctrico, se identifican los tipos de proyectos que se desarrollan en las empresas del sector eléctrico, entre los que se encuentran:

- Construcción de nueva infraestructura eléctrica y no eléctrica.
- Mejora y/o mantenimiento de infraestructura actual.
- Normalización de infraestructura.
- Acciones de saneamiento ambiental.
- Mejora de la función de servicio al cliente.

Para cubrir las necesidades de expansión del sistema de transporte y distribución, se realizan obras de infraestructura mediante proyectos, que son considerados como la unidad más pequeña de la planificación, y está compuesto por una serie de actividades que guardan relación entre sí, que, utilizando insumos, generan uno o varios productos en un tiempo determinado, para la solución de problemas, la promoción del desarrollo o mejora de una situación particular.

### **2.5.2. Identificación de involucrados**

Es fundamental identificar, documentar y conciliar las expectativas de los involucrados, ya que es responsabilidad del equipo, desde el inicio aclarar cuáles expectativas se pueden cumplir y cuáles no son realistas.

Los involucrados se pueden considerar como los actores de enlace entre lo que se desea resolver y a quienes se dirige la solución. Estos involucrados deben estar sujeto a un análisis, que para el presente trabajo incluya la dimensión social, ambiental y poblacional, determinando cómo les están afectando actualmente y cuanto lograrían ser beneficiados con la implementación de los proyectos de suministro eléctrico, toda vez puestos en operación.

Tabla IV. **Involucrados en los proyectos del sector eléctrico**

Ítem	Descripción
1	Individuos de la organización, empleados, la gerencia.
2	Tomadores de decisiones.
3	Contrapartes de negocios o comerciales.
4	Grupos de empleados.
5	Grupos sindicales.
6	Instituciones financieras.
7	Organizaciones de seguros.

Continuación tabla IV.

8	Reguladores y otras organizaciones gubernamentales con autoridad.
9	Políticos que pudieran tener interés electoral o de cartera.
10	Organizaciones no gubernamentales: grupos ambientales y de interés público.
11	Clientes.
12	Proveedores de servicios y contratistas para la actividad.
13	Los medios, que son interesados potenciales y conductos de información a otros interesados.
14	Individuos o grupos interesados con el proyecto.
15	Comunidades locales.
16	Sociedad como un todo.

Fuente: Guerrero. (2013). *Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico.*

### **2.5.3. Procesos de validación nacionales**

El Ministerio de Energía y Minas, como ente rector respecto a los usos racionales de la energía, ha establecido los mecanismos apropiados para poder viabilizar la verificación y el establecimiento del control de los límites de las radiaciones electromagnéticas en todos sus usos, incluyendo a las generadas por los proyectos de suministro eléctrico, denominadas radiaciones no ionizantes.

Uno de los aspectos principales es la autorización de las personas, las cuales deben de cumplir con los requisitos que los faculte para poder realizar mediciones en base a su nivel académico, capacitación y experiencia.

Las personas jurídicas o individuales que deseen realizar mediciones electromagnéticas deben contar con autorización para poder realizar estos estudios.

Dentro de los requisitos requeridos para esta autorización se encuentra el contar con personal autorizado a nivel individual por la Dirección General de Energía, establecer el equipamiento que utilizarán para realizar las mediciones, así como poseer protocolos de medición, dependiendo el tipo de infraestructura a medir.

Las entidades a cargo de los proyectos de suministro eléctrico, para el cumplimiento de los compromisos ambientales, los relativos a la salud ocupacional de las personas, y público en general, además de los relacionados con las certificaciones de calidad, a través de las personas jurídicas o individuales autorizadas, pueden cumplir con los requisitos establecidos en la regulación nacional.

Estos estudios, son verificados y sometidos a validación por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, según lo establecido en cada caso, mediante la emisión de los dictámenes favorables de las instalaciones que emitan radiaciones no ionizantes, que emite el Ministerio de Energía y Minas otorga, a solicitud del MARN como parte de la documentación relacionada con los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental, según la fase que corresponda, y que les requieren a los interesados.

#### **2.5.4. Los proyectos de suministro eléctrico**

A nivel de evaluación de proyectos de suministro eléctrico, la generación de campos electromagnéticos representa uno de los aspectos específicos a tratar, debido a que suscita controversia social, por las potencialidades implicaciones sobre la salud de las personas y el ambiente.

En este sentido, uno de los factores que coadyuva a la certeza técnica sobre este posible efecto, es el hecho de que existen a nivel nacional los mecanismos de control y verificación, que, sumado al conocimiento sobre la sensibilidad del tema, pueden generar diseños de proyectos mejor estructurados.

La ley de los consejos de desarrollo urbano y rural, en su artículo 1, establece que: “El Sistema de Consejos de Desarrollo es el medio principal de participación de la población maya, xinca y garífuna y la no indígena, en la gestión pública para llevar a cabo el proceso de planificación democrática del desarrollo”. (Decreto, 11-2002, p. 2)

La tarea de velar porque se cumplan los planes nacionales que buscan el desarrollo del país, no es tarea de la iniciativa privada únicamente, principalmente porque buscan mejorar la calidad de vida de las personas, y en el caso del acceso a la electricidad, puede generar fuentes de empleo, al crearse las oportunidades para instalar fábricas o empresas de servicios, que ayudaría a mitigar muchas de las situaciones por las cuales los guatemaltecos migran a otros países.

En esta ley, se crean diferentes niveles de participación, con diferentes coberturas. A nivel nacional el Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural; a nivel regional, los Consejos Regionales de Desarrollo Urbano y Rural; a nivel departamental, los Consejos Departamentales de Desarrollo; a nivel municipal, los Consejos Municipales de Desarrollo, y a nivel comunitario, los Consejos Comunitarios de Desarrollo.

Dentro de las funciones de cada uno, es constante una función muy relevante para el tema de los proyectos de suministro eléctrico, entre otros temas, siendo el de dar seguimiento a la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos nacionales de desarrollo, verificando y evaluando su cumplimiento, por

lo que el marco legal para buscar el desarrollo de las comunidades, por citar un ejemplo, está establecido.



### **3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo con base en la metodología planteada para el presente estudio, en donde se establecieron las características del estudio, la unidad de análisis, las variables, las fases, y las técnicas de análisis de información.

La pandemia del COVID-19, enfermedad causada por el nuevo coronavirus conocido como SARS-CoV-2, afectó las actividades de investigación a nivel nacional e internacional, debido principalmente a las limitaciones sobre la movilidad e interacción con las personas, sin embargo, en el presente estudio, la principal afectación fue sobre la fase de recolección de la información, que fue minimizada al utilizar medios alternos, como los virtuales, los cuales permitieron superar algunos inconvenientes presentados.

#### **3.1. Características del estudio**

Las características del estudio incluyeron los elementos metodológicos considerados de acuerdo a los objetivos planteados.

##### **3.1.1. Diseño**

El diseño adoptado fue no experimental, debido a que se utilizó la información del sistema eléctrico nacional, de acuerdo a las características de las tecnologías y condiciones de operación de los sistemas de transmisión y distribución.

### **3.1.2. Enfoque**

El enfoque del estudio propuesto fue cuantitativo, dado que se basó en los tipos de infraestructura de los proyectos de suministro eléctrico y su clasificación normativa correspondiente.

### **3.1.3. Alcance**

El alcance fue descriptivo, ya que se centró en describir los aspectos concretos relacionados con las variables del estudio que permitan a las personas relacionadas en el diseño de proyectos con relación a campos electromagnéticos conocer el espectro de actividades a realizar y sus implicaciones.

### **3.1.4. Unidad de análisis**

La unidad de análisis en estudio fueron los proyectos de suministro eléctrico, asociados a los sistemas de transporte y distribución eléctrica. La muestra consideró las condiciones de operación según el nivel de tensión y frecuencia que utilizan, a partir de lo cual fue posible el cálculo de los valores límites de radiaciones electromagnéticas.

## **3.2. Variables de estudio**

Las variables estudiadas fueron: radiaciones electromagnéticas; impacto ambiental; impacto de salud pública; pérdidas económicas y oposición.

Tabla V. **Clasificación de las variables**

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Numérica / Categorica</b>	<b>Uso</b>	<b>Nivel de medición</b>
Radiaciones electromagnéticas	Cuantitativa	Numérica continua	Independiente	Razón
Impacto ambiental	Cualitativa	Policotómica	Dependiente	Nominal
Impacto de salud pública	Cualitativa	Policotómica	Dependiente	Nominal
Pérdidas económicas	Cualitativa	Policotómica	Dependiente	Nominal
Oposición	Cualitativa	Policotómica	Dependiente	Nominal

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

La definición teórica de las radiaciones electromagnéticas se estableció como las ondas electromagnéticas generadas por las fuentes del campo electromagnético y que se propagan a la velocidad de la luz, y su definición operativa considero su obtención por medio de las características de la infraestructura eléctrica en estudio.

La definición teórica del impacto ambiental se estableció como la alteración causada por el ser humano en el medio ambiente, y su definición operativa consideró su obtención por medio de la incidencia de las radiaciones electromagnéticas.

La definición teórica del impacto de salud pública se estableció como la alteración causada por el ser humano en la salud de las personas, y la definición operativa consideró su obtención por medio de la incidencia de las radiaciones electromagnéticas.

La definición teórica de las pérdidas económicas se estableció como la alteración causada por el retraso en la ejecución de los proyectos, y la definición

operativa consideró su obtención por medio de la inclusión del elemento radiación en el diseño de los proyectos de suministro.

La definición teórica de oposición se estableció como la reacción generada por la población a los proyectos de suministro, y la definición operativa consideró su obtención por medio de la inclusión del elemento radiación electromagnética.

### **3.3. Fases del diseño de investigación**

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo, se establecieron cuatro diferentes fases de investigación, siendo las siguientes: fase de revisión; fase de descripción; fase de recolección y fase de análisis. La descripción de cada fase se presenta a continuación.

#### **3.3.1. Fase 1**

En la fase de revisión, se realizó la búsqueda, revisión y consulta de fuentes de información relacionadas con los efectos en el ambiente, de las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico, en donde los libros y artículos publicados, sirvieron para identificar los factores de reducción del impacto ambiental.

#### **3.3.2. Fase 2**

En la fase de descripción, se recopiló la información relacionada a los fenómenos electromagnéticos generados por los proyectos de suministro eléctrico, que, con base en la normativa nacional e internacional, contribuyeron a la cuantificación de los límites de dosis de las radiaciones electromagnéticas. Los informes y estudios publicados, así como la información técnica disponible,

orientó sobre el proceso de cálculo de los parámetros de campo eléctrico y campo magnético.

### **3.3.3. Fase 3**

Para la fase de recolección, en función de la información recopilada en la fase anterior, se identificaron los factores que inciden en la disminución de las demoras en la ejecución de los proyectos, de acuerdo a los distintos tipos de tecnologías utilizadas.

### **3.3.4. Fase 4**

En la fase de análisis, tomando en cuenta la naturaleza de la cobertura territorial intrínseca del suministro eléctrico y los elementos que inciden sobre la dimensión social y ambiental, se realizó la determinación de los factores que contribuyen a la oposición y conflicto de los proyectos de suministro eléctrico, considerando los elementos comunes que causan temor en las personas, principalmente.

## **3.4. Técnicas de análisis de información**

Para cumplir con los objetivos de esta investigación fue necesario utilizar estadística descriptiva, para la obtención de las características generales de las variables de estudio identificadas, con la finalidad de presentar la información relacionada al problema de la investigación de manera organizada y sintetizada, que permitió comprender el contexto general de la relación de los proyectos de suministro eléctrico en el país, y establecer conclusiones para mejorar sus procedimientos.

Se utilizaron los recursos siguientes:

- Revisión documental

De las diferentes bases públicas con información, se obtuvieron los datos relacionados con el establecimiento de los valores límite de las radiaciones electromagnéticas, y los efectos de estas en la salud y el ambiente, incluyendo la normativa internacional relativa a la materia.

- Cuestionarios

Se realizaron cuestionarios con el objetivo de recopilar información adicional a la encontrada en la documental, focalizada en el aspecto ambiental y de salud. Esta herramienta permitió conocer las impresiones de las personas que viven y realizan sus actividades cotidianas y laborales, en las cercanías a los proyectos de suministro eléctrico, que en el caso del interior del país están relacionadas a actividades agrícolas.

- Entrevistas

Se realizaron entrevistas con el objetivo de recopilar información adicional a la encontrada en la documental y cuestionarios, especialmente la relativa a los efectos en el ambiente. Por medio de este recurso se pudo obtener la percepción de las personas respecto a los temores que tienen en relación a la afectación de sus cultivos, las fuentes de agua, su entorno, inclusive hacia los animales de crianza.

- Gráficas, cuadros y tablas

Se realizaron con el objetivo de organizar y clasificar la información para poder ser presentada y analizada. En el caso de los límites de radiación, se realizaron cuadros y tablas para poder establecer relaciones numéricas con los valores medidos.



## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, de conformidad con los objetivos específicos correspondientes a las fases descritas en la sección de desarrollo de la investigación.

### 4.1. Factores de reducción del impacto ambiental

Mediante la fase de investigación número uno, de revisión, se identificaron los factores de reducción del impacto ambiental en las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico, siendo los de mayor recurrencia, los presentados en la siguiente tabla.

Tabla VI. Factores de reducción de impacto ambiental

<b>Descripción de factores identificados para la reducción del impacto ambiental</b>
Aplicación de técnicas adecuadas de desbroce en las áreas de servidumbre para conservación de los cultivos y del patrimonio natural.
Adecuada planificación de nuevas actividades humanas en las áreas de servidumbre, para la seguridad de la biodiversidad.
Conocimiento de los efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre los cultivos.
Prevención de electrocución y accidentes de aves.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

## 4.2. Límites de exposición

Mediante la fase de investigación número dos, de descripción, se cuantificaron los límites de exposición a las radiaciones electromagnéticas para la reducción del impacto de salud pública en las poblaciones cercanas a los proyectos de suministro eléctrico.

Según la legislación aplicable para el control de las radiaciones electromagnéticas, denominadas radiaciones no ionizantes, se utiliza el valor de frecuencia que funciona en el Sistema Eléctrico Nacional, de 60 hercios (Hz).

La conversión de 60 Hz a dimensionales de kHz, para efectos de la aplicación en la normativa, da como resultado un valor de 0.06 kHz, el cual lo coloca dentro del rango de 0.025 – 0.8 kHz de la exposición para público en general, que para el campo eléctrico se obtiene mediante la fórmula  $250/f$ , en donde  $f$  es la frecuencia en kHz, es decir  $250/0.06 = 4,166.67$  V/m, y para el campo magnético se obtiene mediante la fórmula  $4/f$ , en donde  $f$  es la frecuencia en kHz, es decir  $4/0.06 = 66.67$  A/m.

Tabla VII. **Límites de exposición para público en general**

Frecuencia	Intensidad de Campo eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo magnético (A/m)
60 Hz	4,166.67	66.67

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Para el caso de la exposición ocupacional, el campo eléctrico se obtiene mediante la fórmula  $500/f$ , en donde  $f$  es la frecuencia en kHz, es decir  $500/0.06$

= 8,333.33 V/m, y para el campo magnético se obtiene mediante la fórmula  $20/f$ , en donde  $f$  es la frecuencia en kHz, es decir  $20/0.06 = 333.33$  A/m.

Los valores límite para la exposición ocupacional tienen menor restricción que los valores para público en general, sobre el cual se realizará el análisis, debido a que se considera a la población dentro de esta clasificación.

Tabla VIII. **Límites de exposición para trabajadores**

Frecuencia	Intensidad de Campo eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo magnético (A/m)
60 Hz	8,333.33	333.33

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Para las mediciones de las radiaciones electromagnéticas, se utilizan dos perfiles de medición, el longitudinal, en puntos paralelos a la fuente generadora, y el lateral, en puntos perpendiculares.

En la siguiente figura, se puede observar que el perfil longitudinal es paralelo al sentido de la carretera, y el perfil lateral, en sentido perpendicular, en la cual se toma como punto cero, la parte más baja del vano del tendido eléctrico.

Figura 9. **Perfil de medición longitudinal y lateral (en metros)**



Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 1 de enero de 2021. Recuperado de Lansat/8 2021INEGI.

En las tablas siguientes se presentan los puntos medidos, con distancias en metros (m), en diferentes estructuras del sistema eléctrico nacional, para líneas de tensión de 230 kV, 69 kV, y subestación eléctrica de 69 kV, que para el objeto del presente estudio se consideran como líneas representativas, que operan a la misma frecuencia, de 60 hercios, y sobre la cual se determinan los valores de campos electromagnéticos que son capaces de generar.

Tabla IX. **Valores perfil longitudinal línea 230 kV**

Distancia (m)	Perfil longitudinal	
	Intensidad de campo eléctrico	Densidad del flujo magnético
	(V/m)	(A/m)
+40	1,100.00	2.90
+20	870.00	3.90
+10	540.00	1.30
0	570.00	2.60
-10	790.00	1.90

Continuación tabla IX.

-20	640.00	0.80
-40	470.00	2.70

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla X. **Valores perfil lateral línea 230 kV**

Distancia (m)	Perfil lateral	
	Intensidad de campo eléctrico	Densidad del flujo magnético
	(V/m)	(A/m)
+20	530.00	1.90
+10	670.00	2.40
0	570.00	2.60
-10	420.00	5.30
-20	60.00	1.30

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XI. **Valores perfil longitudinal línea 69 kV**

Distancia (m)	Perfil longitudinal	
	Intensidad de campo eléctrico	Densidad del flujo magnético
	(V/m)	(A/m)
+20	541.00	0.309
+10	480.00	0.305
0	863.00	0.248
-10	938.00	0.380
-20	1,109.00	0.530

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XII. **Valores perfil lateral línea 69 kV**

Distancia (m)	Perfil lateral	
	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad del flujo magnético (A/m)
+20	18.00	0.075
+10	84.00	0.102
0	863.00	0.248
-10	425.00	0.132
-20	135.00	0.050

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XIII. **Valores perfil longitudinal subestación 69 kV**

Distancia (m)	Perfil longitudinal	
	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad del flujo magnético (A/m)
+9	510.00	4.02
+3	980.00	4.25
0	1,960.00	8.07
-3	1,190.00	6.01
-9	910.00	4.01

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XIV. **Valores perfil lateral subestación 69 kV**

Distancia (m)	Perfil lateral	
	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad del flujo magnético (A/m)
0	1,960.00	8.07
-3	910.00	2.30
-9	560.00	1.80

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XV. **Valores de exposición en líneas de 230 kV**

Perfil longitudinal		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	470.00	11.28 %
Valor máximo	1,100.00	26.40 %
Perfil longitudinal		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	0.80	1.20 %
Valor máximo	3.90	5.85 %
Perfil lateral		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	60.00	1.44 %
Valor máximo	670.00	16.08 %
Perfil lateral		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	1.30	1.95 %
Valor máximo	5.30	7.95 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

Tabla XVI. **Valores de exposición en líneas de 69 kV**

Perfil longitudinal		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	480.00	11.52 %
Valor máximo	1,109.00	26.62 %
Perfil longitudinal		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	0.248	0.37 %
Valor máximo	0.530	0.79 %

Continuación tabla XVI.

Perfil lateral		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	18.00	0.43 %
Valor máximo	863.00	20.71 %

Perfil lateral		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	0.050	0.07 %
Valor máximo	0.248	0.37 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

En las tablas XV, XVI y XVII, se presentan los valores porcentuales de las mediciones mínimas y máximas, tanto de la intensidad del campo eléctrico (V/m), como de la densidad del flujo magnético (A/m), para la serie de puntos medidos por tipo de infraestructura eléctrica representativa seleccionada.

Estos valores porcentuales fueron determinados mediante la comparación entre los valores medidos en los puntos longitudinales y laterales, con los valores límites para la exposición del público en general contenidos en la tabla VI de la presente sección.

Tabla XVII. **Valores de exposición en subestación de 69 kV**

Perfil longitudinal		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	510.00	12.24 %
Valor máximo	1,960.00	47.04 %

Continuación tabla XVII.

Perfil longitudinal		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	4.01	6.01 %
Valor máximo	8.07	12.10 %
Perfil lateral		
Medición	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	560.00	13.44 %
Valor máximo	1,960.00	47.04 %
Perfil lateral		
Medición	Densidad del flujo magnético (A/m)	% en relación al límite para exposición al público
Valor mínimo	1.80	2.70 %
Valor máximo	8.07	12.10 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

#### 4.3. Factores de disminución de demoras

Mediante la fase de investigación número tres, de recolección, se identificaron los factores de disminución de las demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico, siendo los más recurrentes, los presentados en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. **Factores de disminución de demoras**

<b>Descripción de factores de disminución de demoras en la ejecución y mantenimiento de los proyectos</b>
Mejora de la legislación nacional vigente, que incluya las radiaciones electromagnéticas en el diseño de los proyectos, y que establezca las servidumbres cómo áreas de riesgo para la seguridad de las personas y la fauna.
Debida aplicación de la normativa vigente en radiaciones electromagnéticas entre el MSPAS, MARN y MEM.
Inclusión de las evaluaciones de radiaciones electromagnéticas y los límites permitidos para público, en los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental que solicita el MARN.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

#### 4.4. Factores de disminución de oposición

Mediante la fase de análisis, se determinaron los factores de disminución de oposición y conflicto a la ejecución de proyectos de suministro eléctrico.

Tabla XIX. **Factores de disminución de oposición**

<b>Descripción de factores de disminución de oposición y conflicto a la ejecución de los proyectos</b>
Legislación que asigne responsabilidades al Sistema de Consejos de Desarrollo, para la coordinación interinstitucional, pública y privada de los proyectos de suministro eléctrico, para el desarrollo integral del país.
Mitigación de la desinformación respecto a las radiaciones electromagnéticas y el efecto en la salud de las personas y el ambiente.
Difusión permanente de las partes interesadas, los Ministerios y Secretarías de Estado, así como del Sistema de Consejos de Desarrollo, respecto a los beneficios derivados de la electricidad y los efectos de las radiaciones electromagnéticas.

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

## **5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En la presente sección se discutirán los resultados presentados en la sección anterior, con el objeto de responder a las preguntas de investigación que originaron los objetivos del estudio en cuestión.

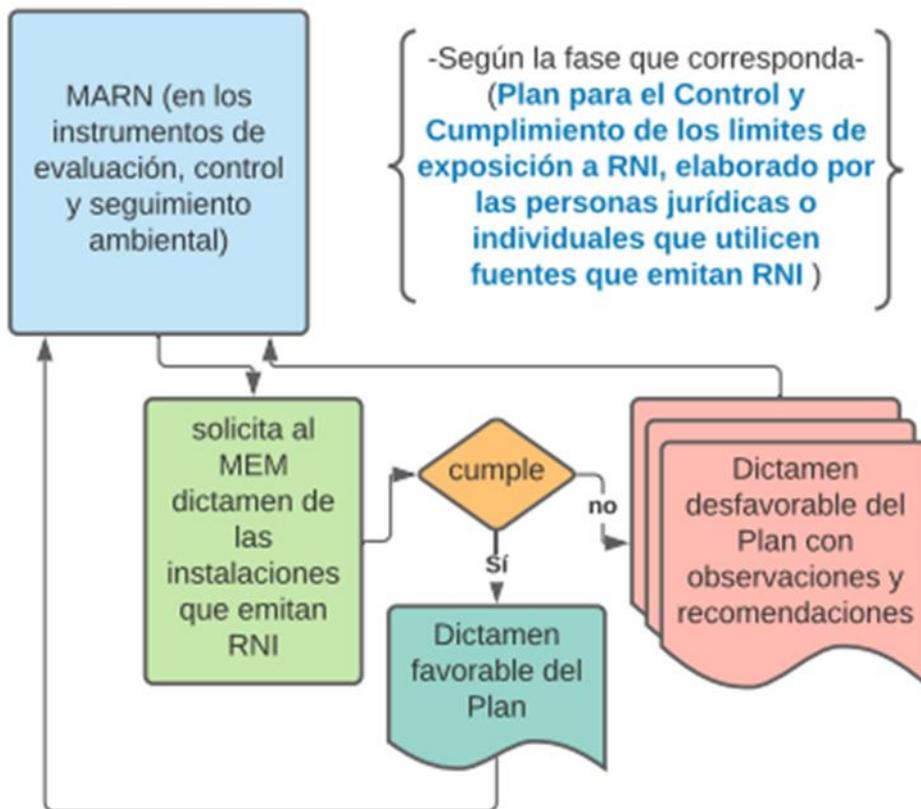
### **5.1. ¿Cómo se puede lograr la reducción del impacto ambiental en las áreas cercanas a los proyectos de suministro eléctrico?**

De la identificación de los factores de reducción del impacto ambiental se puede decir que la normativa ambiental actual no contempla los aspectos esenciales relacionados con las radiaciones electromagnéticas generadas de los proyectos de suministro eléctrico, y derivado de la fase de revisión, de donde se generaron los insumos para abordar esta pregunta de investigación, se identificaron factores que son áreas de oportunidad para dar a conocer la relación causa-efecto de las radiaciones electromagnéticas en la biodiversidad.

Adicionalmente hay otros factores que las personas asocian a los proyectos de suministro eléctrico, pero sin relacionarlos directamente con las radiaciones electromagnéticas, sino simplemente por el hecho de considerarlos invasivos y con posible afectación a los recursos del lugar, como el agua y otros. Así también se encuentra el factor del desbroce de las áreas de servidumbre para la conservación de sus cultivos y de su patrimonio natural, las actividades humanas que se generan de estas rutas físicas que se crean, y otras que pueden ser objeto de estudios futuros, desde el ámbito de otras disciplinas científicas.

La relación entre las actuaciones entre el MARN y el MEM, respecto a las radiaciones no ionizantes o radiaciones electromagnéticas objeto del presente estudio, se pueden ver reflejadas en el diagrama de flujo siguiente.

Figura 10. **Diagrama de flujo proceso relativo a RNI entre MARN-MEM**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

## **5.2. ¿De qué manera se puede lograr la reducción del impacto de salud pública en las poblaciones cercanas a los proyectos de suministro eléctrico?**

De la fase de descripción, en donde se abordaron los temas relacionados a las radiaciones electromagnéticas y sus efectos sobre la salud, se pudo establecer que los proyectos no consideran en su diseño la interacción que tienen con las personas, las poblaciones e inclusive con sus trabajadores, existiendo límites de dosis, que pueden determinarse con la técnica adecuada y que están desarrollados a nivel mundial y regulados en el país, con lo cual se puede ver una oportunidad para incluir este aspecto en el diseño de los mismos.

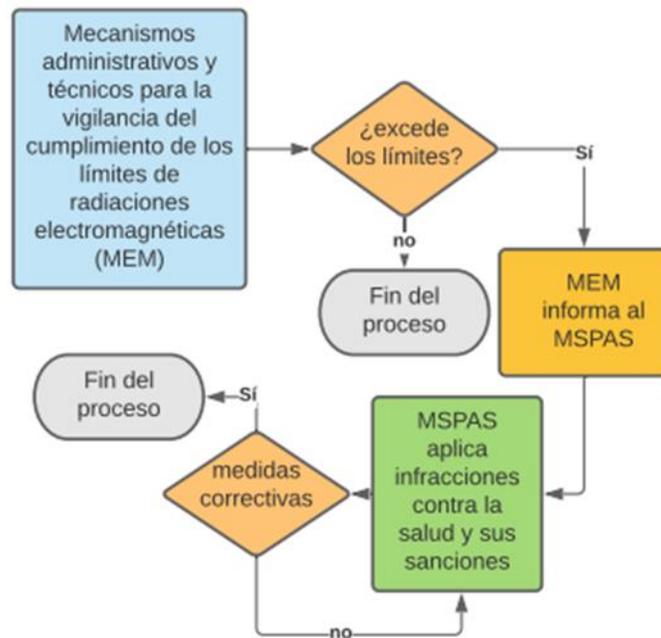
Los valores determinados según el tipo de tecnología demostraron que se encuentran por debajo de los límites establecidos, como se determinó durante las mediciones a las infraestructuras que se tomaron como representativas, siendo las líneas de tensión de 230 kV, 69 kV y subestaciones de 69 kV.

En dichas mediciones, los valores para exposición al público no superaron dichos límites, alcanzando valores máximos sobre estos, del orden del 26.40 % para las mediciones en 230 kV, 26.62 % para mediciones en 69 kV y 47.04 % para subestaciones eléctricas de 69 kV.

Situación que es congruente con las características de las radiaciones electromagnéticas con frecuencias extremadamente bajas, como las generadas por los proyectos de suministro eléctrico, las cuales han sido determinadas a nivel internacional, y clasificadas dentro del espectro electromagnético según el rango de frecuencia al que pertenecen.

Por otro lado, la relación entre las actuaciones entre el MSPAS y el MEM, respecto a las radiaciones no ionizantes o radiaciones electromagnéticas objeto del presente estudio, se pueden ver reflejadas en el diagrama de flujo siguiente.

Figura 11. **Diagrama de flujo proceso relativo a RNI entre MSPAS-MEM**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

### 5.3. ¿Cómo se pueden disminuir las demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico?

De la fase de recolección en donde el enfoque estaba en los efectos económicos derivados de las demoras, fue característico el hecho de que las normativas vigentes no establecen un procedimiento a seguir que oriente de manera correcta a las personas dentro del diseño y ejecución de los proyectos de suministro. De igual forma, no contempla los factores de riesgo de las áreas

de servidumbre que puedan afectar el paso de los proyectos o los posibles cambios que deban contemplarse desde un inicio.

Esto, incluyendo el hecho de que no contempla el elemento de las radiaciones electromagnéticas en los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental que se solicitan.

#### **5.4. ¿Cómo se puede lograr la disminución de oposición y conflicto a la ejecución de proyectos de suministro eléctrico?**

De la fase de análisis, en donde se trató el tema de la oposición y conflicto, se evidenció que los aspectos de mitigación sobre la desinformación de los efectos de las radiaciones electromagnéticas no están abordados en la actualidad y las personas viven ajenas a esa realidad, que la difusión no se hace por medio de las personas y entidades que tienen a cargo estas funciones, y que la legislación actual aunque establece un marco en donde asigna funciones sobre el seguimiento a la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos nacionales de desarrollo, no da una responsabilidad específica para los proyectos del sistema eléctrico nacional.

En la práctica, las funciones del Sistema de Consejos de Desarrollo, no se evidencia, a pesar de ser los beneficiados, como fuentes de desarrollo para sus propias comunidades, y a todos los niveles que la componen. Por otro lado, tampoco se establecen competencias y recursos, para que las mismas comunidades, a través del gobierno local, puedan ser capaces de confirmar los valores de exposición a los que se encuentran.

**5.5. ¿Cómo controlar la exposición de la población y el ambiente a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, para disminuir el impacto ambiental y de salud pública?**

El control sobre la exposición de la población y el ambiente, a este tipo de radiaciones electromagnéticas, es posible llevarlo a cabo debido a que existe un desarrollo tecnológico y normativo que se ha fortalecido durante la última década, que permite avanzar, y mejorar procesos y procedimientos, así como mejorar los mecanismos de difusión y regulación que permitan a los diseñadores de proyectos, incluir todos los elementos que deben de considerarse para este tipo de proyectos, siendo el principal reto, la participación del Estado de Guatemala, para que los gobiernos locales, asuman sus responsabilidades, considerando que la electricidad es un motor para el desarrollo de la nación.

## CONCLUSIONES

1. En la identificación de los factores de reducción del impacto ambiental, se determinó que la normativa vigente no contempla aspectos concretos relacionados con las radiaciones electromagnéticas generadas de los proyectos de suministro eléctrico. Se identificaron aspectos que las personas asocian con el ambiente, como el desbroce de las áreas de servidumbre para la conservación de sus cultivos y de su patrimonio natural, la planificación adecuada de las actividades humanas que se generan de estas rutas físicas que se crean, y otras relacionadas con la biodiversidad del país, que pueden ser objeto de estudios futuros, desde el ámbito de otras disciplinas científicas.
2. En relación con las radiaciones electromagnéticas y el impacto sobre la salud, se pudo determinar que los proyectos de suministro eléctrico, no consideran en su diseño la interacción que tienen con las poblaciones e inclusive con sus trabajadores, a pesar de existir límites de dosis regulados, que, para una frecuencia de 60 Hz, para exposición de público tienen el valor de 4,166.67 V/m de intensidad de campo eléctrico y 66.67 A/m de intensidad de campo magnético, y para la exposición laboral tienen el valor de 8,333.33 V/m de intensidad de campo eléctrico y 333.33 A/m de intensidad de campo magnético, por lo que la inclusión de los mismos en el diseño de los proyectos, constituye una oportunidad para reducir el impacto de salud pública de este tipo de proyectos.
3. Las mediciones según el tipo de infraestructura eléctrica representativa seleccionada en el presente estudio demostraron que los valores de

radiaciones electromagnéticas se encuentran por debajo de los límites establecidos para público en general, y para los trabajadores.

4. En la identificación de factores de reducción de demoras en la ejecución de los proyectos de suministro eléctrico, se determinó que las normativas vigentes no establecen un procedimiento a seguir que oriente de manera adecuada a los involucrados en el diseño y ejecución de los mismos, sumado a que no se tienen establecidos los factores de riesgo que las poblaciones asocian con cerca de las áreas de servidumbre, que puedan afectar el paso de los proyectos. En la práctica, no se incluye el elemento de las radiaciones electromagnéticas en los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental.
5. En relación a la oposición y conflicto, se evidenció que los aspectos de mitigación sobre la desinformación de los efectos de las radiaciones electromagnéticas no están siendo abordados en la actualidad por las entidades que tienen a cargo estas funciones, no se presentan planes para el control del cumplimiento de los límites de exposición a estas radiaciones de parte de los propietarios de estos proyectos, y que las instancias de coordinación establecidas en el Sistema de Consejos de Desarrollo, no realizan las funciones de seguimiento a la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos nacionales de desarrollo, a pesar de ser los beneficiados.
6. El control sobre la exposición de la población y el ambiente, a las radiaciones electromagnéticas, es posible llevarlo a cabo debido al desarrollo tecnológico de la última década, sin embargo, el aspecto normativo, es necesario mejorarlo, no solamente para contar con los procedimientos técnicos y administrativos adecuados, sino para que los

mecanismos de difusión se lleven a cabo, evitando barreras de oposición, y principalmente para que a todos los niveles de gobierno, se asuman las funciones y responsabilidades respecto a las políticas, planes, programas y proyectos nacionales de desarrollo, considerando que la electricidad es el motor para el desarrollo de la nación.



## RECOMENDACIONES

1. Alentar al Congreso de la República, para que desarrolle la legislación complementaria respecto a los proyectos del subsector eléctrico, especialmente a los proyectos de suministro eléctrico, en donde se establezcan las funciones y responsabilidades a todos los niveles del Estado.
2. Exhortar al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para que solicite, en los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental, en la fase que corresponda al instrumento respectivo, el dictamen favorable del Ministerio de Energía y Minas, para todas las instalaciones que emitan radiaciones electromagnéticas.
3. Sugerir al Ministerio de Energía y Minas, que reforme la normativa de radiaciones electromagnéticas vigente, de forma que sea operativa, en función del mandato de control y vigilancia de los límites de dosis, permitiendo que las personas jurídicas o individuales puedan cumplir con sus planes de control de exposición, y programas de mediciones en los ambientes expuestos de sus proyectos, con sus propias capacidades.
4. Aconsejar al Ministerio de Educación, para que incluya dentro del currículum nacional base, los temas relacionados a las radiaciones electromagnéticas generadas por los proyectos de suministro eléctrico, así como los relacionados con la electricidad y el subsector eléctrico nacional del país, para forjar generaciones futuras con mayor conocimiento y capacidades.

5. Exhortar a todos los niveles del Sistema de Consejos de Desarrollo, para que ejerzan sus responsabilidades y funciones en cuanto al seguimiento a la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos nacionales de desarrollo, especialmente a los planes de donde se originan los proyectos de suministro eléctrico.
  
6. Sugerir a la Universidad de San Carlos de Guatemala, para que fomente mediante la metodología de casos de estudios, con profesionales de diferentes especialidades, la solución a problemas del subsector eléctrico que coadyuven al desarrollo del país.
  
7. Proponer a los estudiantes de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, para que con sus conocimientos puedan ampliar los temas abordados en el presente trabajo, y que continúen buscando soluciones a las diferentes problemáticas nacionales dentro del subsector eléctrico nacional.

## REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 8-2011. Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes. Diario de Centro América. Guatemala. 20 de enero de 2011.
2. Acuerdo Gubernativo 137-2016. Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental. Diario de Centro América. Guatemala. 12 de julio de 2016.
3. Acuerdo Gubernativo 229-2014. Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional. Guatemala. Diario de Centro América. 8 de agosto de 2014.
4. Acuerdo Gubernativo 256-97.. Reglamento de la Ley General de Electricidad. Diario de Centro América. Guatemala. 2 de abril de 1997.
5. Alba, R. (2018). *Impacto ambiental del campo electromagnético de la línea de transmisión LT-1112, Nuevo Chimbote* (Tesis de maestría). Universidad San Pedro, Perú.
6. Alonso, E., García, R. y Onaindia, C. (2011). *Campos Electromagnéticos y Efectos en la Salud*. Bizkaia, España: Subdirección de Salud Pública de Bizkaia. Recuperado de [https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/cem\\_es.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/cem_es.pdf)

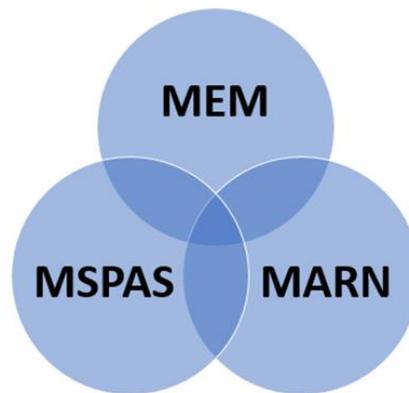
7. Cruz, V. M. (enero, 2009). Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 104-112.
8. Decreto 68-86. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Diario de Centro América. Guatemala. 19 de diciembre de 1986.
9. Decreto 90-97. Código de Salud. Diario de Centro América. Guatemala. 7 de noviembre de 1997.
10. Decreto 93-96. Ley General de Electricidad. Diario de Centro América. Guatemala. 15 de noviembre de 1996.
11. Decreto 11-2002. Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, Diario de Centro América. Guatemala. 15 de abril de 2002.
12. Folch, R., Palau, J. y Moresso, A. (2012). *El Transporte Eléctrico y su Impacto Ambiental*. Madrid, España: Editorial El Duende. Recuperado de <https://www.doccity.com/es/campos-electricos-con-sus-relaciones-y-propiedades-descriptivas/5497949/>
13. Gómez, E. (2015). *Calidad Ambiental Electromagnética. Atenuación de las Radiaciones Electromagnéticas en los espacios habitados* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, España.
14. González, G., y Rabin, C. (2011). *Para entender las radiaciones*. Montevideo, Uruguay: DIRAC.

15. Grupo Pandora, S.A. (2001). *Campos Eléctricos y Magnéticos de 50 Hz*. España: Autor. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/campos-electricos-con-sus-relaciones-y-propiedades-descriptivas/5497949/>
16. Guerrero, G. (2013). *Metodología para la gestión de proyectos bajo lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
17. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2006). *Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz)*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>
18. Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan Indicativo de Electrificación Rural 2020-2050*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/09/Plan-Indicativo-de-Electrificacion-Rural-2020-2050.pdf>
19. Ministerio de Energía y Minas (2020). *Plan de Expansión del Sistema de Transporte 2020-2050*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/03/Plan-de-Expansio%CC%81n-del-Sistema-de-Transporte-2020-2050-mayo.pdf>
20. Ministerio de Energía y Minas (2020). *Área Energética, Radiaciones No Ionizantes*. Guatemala: Autor.

21. Organización Mundial de la Salud. (2016). *Campos Electromagnéticos (CEM)*. Guatemala: Autor. Recuperado de [https://www.who.int/peh-emf/project/EMF\\_Project/es/](https://www.who.int/peh-emf/project/EMF_Project/es/)
  
22. Sigui, A. (2018). *Análisis Técnico y Económico de Plan de Expansión del Sistema de Transporte y su Impacto en la Calidad del Servicio de Distribución, de las redes de 69 kV de la Ciudad de Guatemala* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

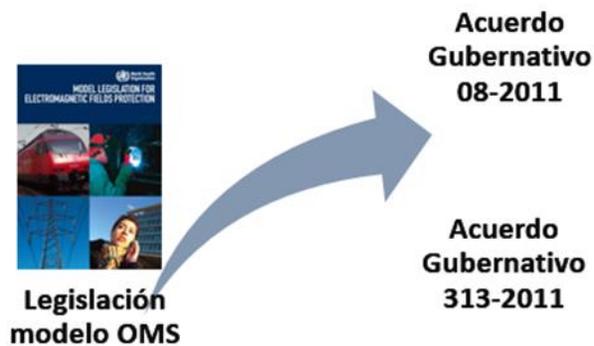
## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Interacción institucional en las RNI**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

### Apéndice 2. **Armonización de la normativa en RNI**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

### Apéndice 3. **Medición de campo eléctrico**



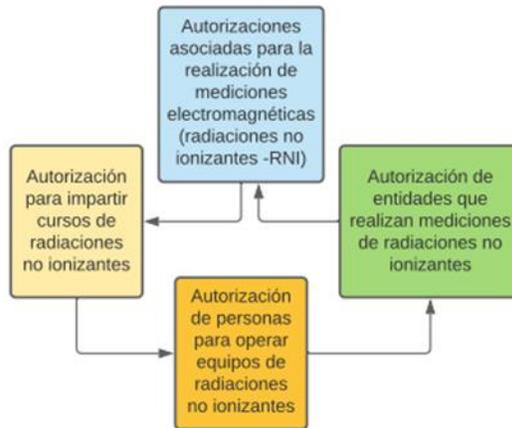
Fuente: [Fotografía de Luis Alejandro González]. (Siquinalá, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 4. **Medición de campo magnético**



Fuente: [Fotografía de Luis Alejandro González]. (Siquinalá, Escuintla. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 5. **Relación de autorizaciones para hacer mediciones RNI**



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

