



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE  
ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR'S PARA EL  
MUNICIPIO DE GUATEMALA**

**Benjamín Tiu Castro**

Asesorado por la Msc. Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE  
ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR'S PARA EL  
MUNICIPIO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**BENJAMIN TIU CASTRO**

ASESORADO POR MSC. ING. CARLOS ALBERTO NAVARRO FUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Edgar Yanuario Laj
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
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:

**DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE  
ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR'S PARA EL  
MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 26 de abril de 2022.



**Benjamin Tiu Castro**



EEPFI-PP-0635-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR S PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energía Aplicada - Energía Renovable y No Renovable - Fuentes de energía no fósil**, presentado por el estudiante **Benjamin Tiu Castro** carné número **201222554**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Energía Y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes  
Asesor(a)

**Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes**  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 8339

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador(a) de Maestría



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





EEP-EIME-0635-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR S PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Benjamin Tiu Castro**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2022



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.77.2023

El Decano 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 Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACION DE LA EMISION DE CO2 POR LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR DIFERENTES TECNOLOGIAS EN LOS GDR'S PARA EL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por: **Benjamin Tiu Castro** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Orden de impresión  
Fecha: 23/09/2023 18:02:02  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, septiembre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 77 CUI: 2980744430807

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme aliento de vida, sabiduría, salud y muchas fuerzas para seguir el sendero del conocimiento.
<b>Mis padres</b>	Les dedico este triunfo, porque son ejemplo de perseverancia y lucha, en especial a mi Madre, por influir en mi educación.
<b>Mis hermanas</b>	Que, a pesar de la distancia, siempre han estado allí, apoyándome
<b>Mis hermanos</b>	Por formar parte de mi vida, en especial a Juan Ricardo Tiu Castro, por enseñar el camino del conocimiento.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme y abrirme las puertas del conocimiento, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente y sobre todo ser una persona de bien.
<b>Mis amigos</b>	Por todo el apoyo que me han brindado durante este tiempo, de desvelo y frustraciones, es un gran honor para mí poder contar con su amistad y apoyo.

**Ingeniero**

Por su tiempo, colaboración y sobre todo  
compartirme sus conocimientos incondicionales.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por forma parte de tan distinguida casa de estudios para mi formación académica.
<b>Mis amigos</b>	De estudios, compañeros de cuarto y en general, por compartir conmigo y brindarme todo su apoyo.
<b>Mi asesor</b>	Al Mtro. Carlos Alberto Fernando Navarro Fuentes, por ser mi guía en esta elaboración de trabajo de graduación.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para ser un profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción del problema .....	9
3.3. Formulación del problema .....	10
3.3.1. Pregunta central .....	10
3.3.2. Preguntas auxiliares .....	11
3.4. Delimitación del problema .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	17

7.	MARCO TEÓRICO .....	19
7.1.	Aspectos generales.....	19
7.1.1.	Generación distribuida renovable.....	19
7.1.2.	Funcionamiento.....	21
7.1.3.	Clasificación de la generación distribuida renovable.....	22
7.1.4.	Ventajas de la generación distribuida.....	22
7.1.5.	Aprovechamiento de los GDR 's.....	24
7.1.6.	Tecnologías de generación distribuida renovable ...	24
7.1.7.	¿Que son los gases de efecto invernadero? .....	26
7.1.8.	Protocolo de Kyoto .....	28
7.1.9.	El dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	29
7.1.10.	Metano (CH <sub>4</sub> ).....	30
7.1.11.	Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	30
7.1.12.	Fuentes de CO <sub>2</sub> .....	30
7.1.13.	Co <sub>2</sub> equivalente (CO <sub>2</sub> e).....	31
7.1.14.	Inventario de emisión de gases de efecto invernadero .....	31
7.1.15.	El factor de emisión.....	31
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	33
9.	METODOLOGÍA .....	37
9.1.	Características del estudio .....	37
9.2.	Unidades de análisis .....	38
9.3.	Variables .....	38
9.4.	Fases del estudio .....	40
9.4.1.	Fase 1. Revisión bibliográfica.....	40
9.4.2.	Fase 2. Gestión o recolección de la información .....	40

9.4.3.	Fase 3. análisis de información .....	41
9.4.4.	Fase 4. interpretación de información.....	41
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
11.	CRONOGRAMA.....	45
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	47
13.	REFERENCIAS.....	49



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Cronograma de actividades .....	45
------------------	---------------------------------	----

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Definiciones de variables .....	38
<b>Tabla 2.</b>	Generación de energía eléctrica a partir de DGR's .....	39
<b>Tabla 3.</b>	Recursos necesarios para la investigación .....	47



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentaje
Q	Quetzales



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del mercado mayorista.
<b>CNNE</b>	Comisión Nacional de energía eléctrica.
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono, es el gas de efecto invernadero que suele expulsarse con más frecuencia a la atmosfera como consecuencia de distintas actividades humanas.
<b>GDR</b>	Generador distribuido renovable.
<b>GDR'S</b>	Generadores Distribuidos Renovables.
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero.
<b>Generación distribuida</b>	Instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico mediante un punto de conexión común.
<b>Generación distribuida renovable</b>	Es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW).

<b>Generador Distribuido Renovable</b>	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable. Estos serán considerados como Participantes del Mercado Mayorista.
<b>IEEE</b>	Instituto de ingenieros en electricidad y electrónica (IEEE por sus siglas en ingles)
<b>SIN</b>	Sistema Nacional Interconectado

## RESUMEN

La generación de energía eléctrica es esencial para el funcionamiento de la sociedad moderna, pero también es una de las principales fuentes de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero, lo que contribuye significativamente al cambio climático. La quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, en plantas de energía es la principal causa de estas emisiones.

A medida que estos combustibles se queman para producir electricidad, liberan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes a la atmósfera. Una alternativa para mitigar este impacto en el medio ambiente, es el concepto de generación distribuida llamadas también GDR'S, se refiere a la producción de energía en pequeña escala, a menudo utilizando fuentes renovables, en lugar de depender únicamente de grandes centrales eléctricas. Esto tiene el potencial de reducir las emisiones de dióxido de carbono y mitigar el impacto ambiental causado por la contaminación de los combustibles fósiles. Al descentralizar la generación de energía, se puede disminuir la dependencia de los combustibles fósiles altamente contaminantes, lo que contribuye a combatir la contaminación del aire y el cambio climático.

El presente diseño de investigación busca comparar, por medio de análisis estadística históricas, el alcance del impacto y su relación que exista entre el dióxido de carbono con la generación de energía eléctrica, utilizando diferentes tecnología de fuentes renovables en pequeña escala, es decir se realizara un estudio comparativo de las tecnologías existentes de generación distribuida

renovable de energía eléctrica que actualmente estén funcionando para el municipio de Guatemala, respecto a la cantidad de  $\text{CO}_2$  que emiten por cada tipo de tecnología instalada.

La transición hacia una generación de energía eléctrica con bajas emisiones de carbono es esencial para mitigar el cambio climático. A medida que la tecnología avanza y se implementan políticas efectivas, se espera que la dependencia de los combustibles fósiles disminuya, dando paso a un sistema de energía más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

# 1. INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación se trata de comparar las tecnologías existentes, e instaladas para la generación de energía eléctrica en pequeña escala con fuente de energía primaria renovable, en relación a la cantidad de  $\text{CO}_2$  que pueden emitir durante su desempeño de producir de electricidad.

En la actualidad no existe un inventario nacional actualizado sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mucho menos sobre el impacto de estos gases relacionados a la generación distribuida renovable a pequeña escala, cuya potencia neta es inferior o igual a cinco megas (5MW). El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es el gas de efecto invernadero que es expulsado con más frecuencia en la atmósfera como producto de las actividades humanas.

De esta manera el presente trabajo de graduación pretende realizar un estudio comparativo de las tecnologías de generación distribuida renovable de energía eléctrica, que actualmente están funcionando en el municipio de Guatemala, respecto a la cantidad de dióxido de carbono que emiten por cada tipo de tecnología instalada.

Conocer las emisiones de  $\text{CO}_2$  permite, a nivel de país proyectar rutas de acción a efectos de disminuir el impacto ambiental que este asociado, a la producción de energía eléctrica.

El estudio que se pretende desarrollar aportará información acerca de la cantidad de dióxido de carbono, emitido por cada unidad de energía producida por los diferentes tipos de tecnología de los GDR's, partiendo de la creación de

una base de datos, de las tecnologías de generación de energía instaladas en el municipio; la base de datos se construye a partir de la población local del municipio(consumo /habitante), la composición de la matriz energética del municipio de Guatemala, proporcionado por CNEE y AMM, el consumo eléctrico por sector, proporcionado por EEGSA.

Seguidamente desarrollará el análisis estadístico, para determinar la relación que existe entre el dióxido de carbono y la tecnología asociada a este.

Por el tipo de investigación a realizar, los datos se obtienen de entidades públicas y privadas, se considera que, los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

En los primeros capítulos de la investigación se realizará una revisión documental, seguidamente se plantea el problema y el alcance de la misma, se justifica la investigación, en los siguientes capítulos se desarrolla el marco teórico, enfocado al tema en desarrollo; luego, como se va a solucionar, descripción del método a utilizar, también se hace mención la factibilidad, finalmente en los últimos capítulos se presentan los resultados obtenidos de la investigación, la discusión, conclusiones y por ultimo las recomendaciones.

## 2. ANTECEDENTES

El cambio climático en la actualidad es una de las problemáticas que más asecha la humanidad. Guatemala por su ubicación geográfica es un país altamente vulnerable a sus efectos, con el pasar de los años su riqueza biológica a su sufrido drásticos cambios que lo caracteriza al país, por otra parte, la infraestructura del país, se ha visto golpeado por el paso hidrometeorológico en estos últimos años, se ve afectado a la salud y por tanto pone en riesgo la salud de las comunidades más vulnerables del país.

En Guatemala se ha tomado acciones y medidas de mitigación al cambio climático, dentro de los principales avances en esta materia se puede destacar, que el sector energía, con la ayuda del sector privado, se logró un aumento de la capacidad de planta que utiliza como recurso la energía renovable del 55.3 % que tenía en el 2013 a un 68.8 % en el 2019 (MARN, SGCCC y PNUD, 2021,p.34).

En Guatemala, en materia de avances para los reportes y medición de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se encuentra en proceso la consolidación del Sistema Nacional de Inventario de GEI (SNIGT), que según el MARN, SGCCC y PNUD (2021) “sería una instancia técnica para planificar, conducir y reportar los inventarios nacionales, así como las medidas y proyectos de mitigación que se implementen” (p.7).

Respecto al desempeño ambiental del país, Guatemala se encuentra en la posición 149 de 180 países, relativamente es una de los más bajos en latino América, respecto a los países vecinos.

La demanda de energía eléctrica en los departamentos del país, ha sufrido un crecimiento drástico que no se había observado desde la década de los noventas, esto es debido principalmente a un efecto rebote significativo en el consumo de energía producto de la actividad económica a nivel nacional. Según el Agente del Mercado Mayorista (AMM), los años previos al 2021, la demanda había experimentado una disminución en la tasa de crecimiento de la energía, lo que se atribuye a los nuevos usuarios autoprodutores.

Según datos estadísticos del Agente del Mercado Mayorista (AMM,2021), la demanda de energía en el sistema nacional interconectado (SIN) para el 2021 fue de 11,454.28 GWh, con un crecimiento de 8.27 % respecto a 2020. Para el departamento de Guatemala, el crecimiento fue de 7.05 % respecto al año anterior, representando así el 41.28 % de la demanda nacional.

Según el Agente del Mercado Mayorista(2021) en los últimos cinco años, la demanda nacional ha crecido a un ritmo de 3.13 %, por lo que el crecimiento observado se debe a la recuperación, luego de la caída de 2020 ocasionada por las medidas de confinamiento a raíz de la pandemia del COVID-19 (pp.1-2).

Son cinco los departamentos del país donde se concentran el 65.71 % de la demanda total, las cuales son el departamento de Guatemala, Escuintla, Quetzaltenango, Huehuetenango y Sacatepéquez. En contraste, la mayor actividad económica se encuentra concentrada en la ciudad, el

área departamental a concentrado la incorporación en la participación como en crecimiento porcentual, se puede decir es debido a la integración de nueva demanda, el incremento del consumo industrial, residencial y al comercial, crecimiento poblacional, nuevos grandes usuarios; estos hechos han permitido sustentar un crecimiento de la demanda de la energía en estos años. (Agente del Mercado Mayorista, 2021, pp.1-4)

El interés por fomentar el uso de la generación distribuida de energía, en la actualidad es muy evidente y los recursos de fuentes primarias renovables como el que se obtiene del sol y del viento son los principales elementos del conjunto de fuentes de energía renovable, para impulsar hacia la autogestión y el modelo de energía distribuida renovable, promoviendo implementación de estos tipos de tecnologías en los sectores como la residencial, comercial e industrial, la cual tiene consecuencias en influir positivamente en las culturas de promover el uso en estructuras ambientalmente sostenibles y aceptables, de modo que, el uso de energía limpias haría mermar los conflictos socio ambientales relacionados a hidrocarburo y energía.

Hoy en día se tiene un modelo energético en torno a un sistema de generación centralizada, en la cual, la energía eléctrica se produce en plantas de gran potencia (hidroeléctricas, térmicas, etc.), la generación distribuida supone un cambio enorme, ya que la electricidad pasa a ser producida en centrales de pequeñas potencias situadas en zonas donde hay gran demanda de consumo. (Córdor, 2020, p.5)

La implementación de la Generación Distribuida Renovable -comúnmente llamados GDR's- en el sistema eléctrico, presenta diversas ventajas técnicas, económicas y medioambientales.

En la actualidad, el sector energético es la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero, en contraste en América latina y el Caribe tienen una baja participación a la emisión mundial de estos GEI, es por tal motivo la responsabilidad de promover las energías de fuentes primarias renovables, para avanzar hacia una sociedad de bajas emisiones de dióxido de carbono.

Los Recursos Energéticos Distribuidos (RED), incluyen principalmente la generación de electricidad con energías renovables a pequeña y mediana escala, la eficiencia de los recursos, los sistemas físicos y virtuales de almacenamiento, la gestión de la demanda y el vehículo eléctrico (Comisión de Integración Energética Regional, 2021,p.17).

Los RED trae beneficios en la economía de escala, mitigación de riesgos y por otro lado permite tener acceso al mercado de energía, de tal manera acelera la penetración en varios sectores como la residencial y la industrial.

El aumento de la actividad económica de un país, implica el crecimiento en la demanda de la energía eléctrica, ante tal acontecimiento implica buscar nuevas formas de cubrir el crecimiento de esta demanda, mediante la implementación de nuevas formas de energía, eficiencia, costos bajos, por último, que tenga un impacto menor al ambiente.

La Generación Distribuida al estar cerca de los centros de carga y al ser de reducida capacidad instalada (<5 MW) que las tradicionales, evita costos que la generación tradicional no puede evitar como altas inversiones en líneas y transformadores, obras civiles, áreas de construcción, permisos y licencias, entre otros (Zeceña, 2018,p.20).

Guatemala al ser un país en vías de desarrollo, debe implementar desde los actores políticos implantar proyectos de fuentes de generación distribuida renovable, este debe ser un tema a considerar debido al aumento de demanda de la energía eléctrica.

En el sector energía se considera las emisiones de GEI por la quema de combustibles y las emisiones fugitivas derivadas; las emisiones para este sector se agrupan en tres categorías están las actividades por quema de combustibles, las emisiones de fugitivas de combustibles y las emisiones de transporte y almacenamiento de co2. De las descritas solo las primeras dos se llevan a cabo en el país.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La producción de energía implica costos y el severo daño que llega a causar al medio ambiente, principalmente por el uso de recursos energético que se obtienen de los hidrocarburos, el problema ambiental en cuestión son los gases de efecto invernadero, calidad del aire, concentración de mercurio entre otros, es fundamental entender el funcionamiento y los efectos de la generación de electricidad, para tomar decisiones, buscar opciones más limpias y energéticamente más eficientes.

#### **3.1. Contexto general**

En el sector energía se considera las emisiones de GEI por la quema de combustibles y las emisiones fugitivas derivadas; las emisiones para este sector se agrupan en tres categorías están las actividades por quema de combustibles, las emisiones de fugitivas de combustibles y las emisiones de transporte y almacenamiento de  $CO_2$ . De las descritas solo las primeras dos se llevan a cabo en el país.

#### **3.2. Descripción del problema**

Por el uso de fuentes de energía primaria de origen fósil, tiene como resultados impactos ambientales significativos a nivel global, especialmente mediante las emisiones de  $CO_2$ , como uno de los responsables del calentamiento global del planeta.

A nivel local según datos se tiene, en la industria de la energía corresponde a la segunda mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero, los últimos datos entre el 2014 y el 2016 el incremento fue de emisiones fue de 36.8 %.

En la actualidad no existe un inventario nacional actualizado sobre las emisiones de GEI, mucho menos sobre el impacto de estos gases relacionados a la generación distribuida renovable a pequeña escala.

De esta manera el presente trabajo de graduación pretende realizar un estudio comparativo de las tecnologías de generación distribuida renovable de energía eléctrica, que actualmente están funcionando en el municipio de Guatemala, respecto a la cantidad de dióxido de carbono que emiten por cada tipo de tecnología instalada.

### **3.3. Formulación del problema**

La formulación del problema permite identificar situaciones que pueden ser resueltas para un mayor bienestar de la población, eficientar recursos y otros, por eso, se presentan las interrogativas que originan esta investigación.

#### **3.3.1. Pregunta central**

¿Qué cantidad de CO<sub>2</sub> es emitida en la atmósfera para la generación de 3 MW de energía en los GDR's en la ciudad de Guatemala?

### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Qué tecnología de los GDR's producen mayor cantidad de CO<sub>2</sub>, para la generación de energía eléctrica en la ciudad de Guatemala?
- ¿Qué impacto local tiene los GDR's en las emisiones de dióxido de carbono en la atmosfera para en el departamento de Guatemala?
- ¿Qué cantidad total de CO<sub>2</sub> es emitida por los GDR's en la atmosfera por producir electricidad en municipio de Guatemala ?

### **3.4. Delimitación del problema**

Se realizará un estudio comparativo de las emisiones de dióxido de carbono de los tipos de tecnología en la generación de energía eléctrica, en pequeña escala, hasta los 5MW, se creará una base de datos, de los históricos de la generación y la demanda en el municipio de Guatemala, estos datos se obtendrán de la CNEE y la empresa distribuidora de energía del municipio.

Este análisis comparativo de tecnología de los GDR's permitirá establecer, el estado de situación en el municipio de Guatemala y proponer próximos pasos para el impulso de uso de energía de fuente primaria renovable en pequeñas escalas.

En consecuencia, se analizará la matriz energética local del municipio, se va a centrar en los generadores distribuidos renovables, que están conectados a la red de distribución de energía eléctrica, de la empresa distribuidora.



## 4. JUSTIFICACIÓN

En la realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación en el área energética que corresponde la gestión y uso de la energía; que trata de los aspectos técnicos, económicos y ambientales en el uso y aprovechamiento de recursos energéticos de la Maestría en Energía y Ambiente.

Con este estudio se obtendrá datos comparativos del comportamiento de la emisión de Co<sub>2</sub> en el medio ambiente por la generación de energía eléctrica, a partir de diferentes tipos de tecnologías. Se obtendrá también un estudio con el análisis de la situación actual, y la cuantificación de este tipo de gas que se emite por generar 3MW de energía.

Los productos obtenidos serán de utilidad a la sociedad, y a las entidades correspondientes. El resultado obtenido de la investigación beneficiara el municipio, al tener en cuenta un estudio sobre el impacto del co<sub>2</sub>, producido por las distintas tecnologías, ayuda a comprender el alcance que este tiene al ambiente y comprender la situación actual del país, para tomar decisiones certeras al implementar una de estas tecnologías. Ayuda a comprender mejor la realidad actual sobre las emisiones de las centrales eléctricas y sus efectos en el medio ambiente y la salud a escala regional.

En la actualidad el inventario nacional de gases de efecto invernadero no incluye, la cuantificación de dióxido de carbono emitidos por cada tipo de tecnología asociado a la generación de energía de fuentes primaria renovables, por lo que se puede afirmar que no existe un estudio de este índole en la

actualidad, de la importancia obtener el análisis comparativo, y conocer la situación actual del municipio, a partir de este análisis tomar acciones y conciencia del impacto que pueda llegar a tener estos tipos de emisiones.

Este análisis será de beneficio para la sociedad que buscar diversificar la matriz energética local, impulsado la transición de recursos fósiles a recursos renovable a pequeña escala.

La maestría al encontrarse entre el marco de energía y ambiente involucra todo análisis profesional dentro del buen funcionamiento del equipo en donde habrá un beneficio ambiental y energético.

## **5. OBJETIVOS**

Se plantean los objetivos como permitirá guiar el curso de esta investigación para determinarán explorar, describir y analizar las características de las variables.

### **5.1. General**

Comparar la emisión en toneladas métricas de CO<sub>2</sub> emitidas en la atmosfera para la generación de 3MW de energía eléctrica para el departamento de Guatemala

### **5.2. Específicos**

- Dimensionar el tipo de tecnología en los GDR's con mayor producción de CO<sub>2</sub> producida en la generación de energía eléctrica para el departamento de Guatemala
- Determinar qué impacto producen los GDR's en relación a la emisión de CO<sub>2</sub> como contaminante a la atmosfera para el departamento de Guatemala
- Calcular el total de CO<sub>2</sub> emitido por un periodo determinado, de todas las tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica para el departamento de Guatemala



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Los gases de efecto invernadero permanece en la atmosfera por largos periodos de tiempo que van desde algunos años hasta miles de años; tiene impacto global, sin importar donde fueron emitidos por primera vez. Conocer las emisiones de CO<sub>2</sub> permite, a nivel de país proyectar rutas de acción a efectos de disminuir el impacto ambiental que este asociado, a la producción de energía eléctrica.

En la actualidad Guatemala cuenta con un inventario nacional de gases de efecto invernadero que se desarrolló en el año dos mil dieciséis, países como México ha desarrolla y avanzado en la transición de cambiar la matriz energética de fuentes fósiles a las energías verdes, impulsando la generación distribuida.

El estudio que se pretende desarrollar aportará información acerca de la cantidad de dióxido de carbono, emitido por cada unidad de energía producida por los diferentes tipos de tecnología de los GDR's, partiendo de la creación de una base de datos, de las tecnologías de generación de energía instaladas en el municipio, la base de datos se construye a partide de la población local del municipio (consumo /habitante).

La composición de la matriz energética del municipio de Guatemala, proporcionado por CNEE y AMM, el consumo eléctrico por sector, proporcionado por EEGSA. Seguidamente desarrollará el análisis estadístico, para determinar la relación que existe entre el dióxido de carbono y la tecnología asociada a este.

En Guatemala no existe un estudio a profundidad, que revele realmente, la situación de los GDR's en cuanto a la emisión de dióxido de carbono, que se emite al medio ambiente por diferentes tecnologías, ya que por ser tecnología de fuentes primarias renovables a pequeña escala, en teoría no contribuye en la emisión de gases de efecto invernadero, por tal razón, existe un descuido o un seguimiento de los efectos que puede ocasionar estos tipos tecnología, atendiendo esta situación, se puede afirmar que este estudio comparativo es nuevo en su tipo, donde se analiza y se compara con diferentes tecnología (GDR's), las emisiones de dióxido de carbono, por la cadena de producción de energía eléctrica.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Aspectos generales**

La generación distribuida renovable se presenta como un nuevo paradigma, y al mismo tiempo un desafío al sistema de potencia a nivel mundial debido que generalmente se concentran los parques generadores de energía en sitios cada vez más grande y en su mayoría se alejan de los centros de consumo, a su vez llegando a estos a través de redes de transmisión y distribución. Si no es a partir de este siglo, esta tendencia a sufrido un cambio debido al aumento constante de diferentes fuentes de energía renovable como: micro hidráulica, solar fotovoltaica, eólica, biomasa, por indicar algunos; de manera relevante es de vital importancia la cuantificación del impacto ambiental, es pacíficamente el dióxido de carbono que emite cada una de las tecnologías asociadas, para tener un panorama de la situación actual del país.

#### **7.1.1. Generación distribuida renovable**

La Generación distribuida renovable (GDR's), es definida por varias entidades relacionadas con la generación de energía eléctrica, tanto instituciones regionales y globales, tal es el caso de la CNEE (Comisión Nacional de Energía), de Guatemala, la Secretaría de Energía de Argentina (Introducción a la Generación Distribuida de Energía Renovable), la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) entre otros.

La generación Distribuida Renovable surge como una de las alternativas más importante, para la generación y servicio de energía, debido a la importancia,

ya que aumenta la confiabilidad y seguridad en el suministro a corto, mediano y largo plazo. La Generación Distribuida puede variar para otros países, en tamaño, se puede comprender ampliamente a centrales de pequeña, mediana o gran escala. Como se puede leer “En otros países se considera que la Generación Distribuida se encontraría asociada a tecnologías de pequeña escala y/o se vería limitado a redes de baja tensión” (Ramos, 2020, p.9).

En Guatemala, el ente regulador de la energía eléctrica define la Generación Distribuida Renovable como “la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW)” (CNEE, 2014, p. 6).

La IEEE la define como “Instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico mediante un punto de conexión común: Un subconjunto de fuentes distribuidas” (Ramos, 2020, p.9).

En el ámbito internacional, en el caso de Argentina, la Secretaría de Energía de ese país añade que es la energía eléctrica generada mediante fuentes renovables en el mismo punto de consumo por parte de los usuarios conectados a la red eléctrica de distribución. (Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia, 2019, p.7)

Si bien es cierto que no existe una definición concreta a nivel mundial sobre la Generación Distribuida Renovable, se puede observar que las definiciones tienen algo en común: utiliza fuentes de energía renovables y que se conecta a través de una distribución de energía, en pequeña escala.

Claramente existe un cambio en el que “no necesariamente son grandes parques de generación, sino más bien, que están cercanas eléctricamente hablando a las cargas y aprovechando de mejor manera el tendido eléctrico de las redes de distribución en media y baja tensión” (Paredes, L., Serrano, B. y Molina, 2019, p.91).

Por lo tanto, se adopta el uso de la terminología y ante tal acontecimiento aparece el término Generación Distribuida.

### **7.1.2. Funcionamiento**

Los GDR's se conectan a través de la red de distribución eléctrica, lo limitada únicamente la potencia instalada menor o igual los cinco mega watts.

La generación distribuida se diferencia de la generación central convencional debido a que mientras esta última está asociada a grandes redes de transmisión que llevan la energía producida hasta los centros de consumo, la GD está instalada en el mismo lugar donde se produce la demanda. Se reduce así la utilización de las redes de transporte de energía y las pérdidas globales del sistema por kWh consumido efectivamente, siendo éstas sus ventajas competitivas fundamentales. (Orga, 2009, p.14)

### **7.1.3. Clasificación de la generación distribuida renovable**

La clasificación de los rangos, en cuestión de la capacidad instalada de los DGR's, puede variar según sea la literatura o el país, debido a que varía en su propia definición.

En la literatura se manejan diferentes rangos: menores a 500 kilowatts (kW); mayores a 1,000 y menores a 5,000 kW; menores a 20,000 kW; menores a 100,000 kW; e inclusive de tan sólo unos cuantos kW, por ejemplo 3 kW. No obstante, lo anterior y con el afán de establecer una capacidad de acuerdo con las características de generación eléctrica, se puede decir que, en lo que respecta a tecnologías disponibles, la capacidad de los sistemas de GD varía de cientos de kW hasta diez mil kW. (Orga, 2009, p. 26)

### **7.1.4. Ventajas de la generación distribuida**

Los avances tecnológicos y el crecimiento demográfico de un país, es consecuencia principal del crecimiento en la demanda de la energía eléctrica, por ende, surge constantemente la problemática de afrontar estas necesidades, según opina Orga (2009), “La nueva óptica de la industria eléctrica, nos lleva a dos formas de cómo enfrentar el crecimiento de la demanda: primero instalando generación central convencional y ampliando las redes de transporte y segundo instalando generación distribuida” (p. 29).

La generación distribuida renovable presenta varios beneficios al sistema eléctrico según Orga (2009),

- Diversificar las fuentes de energía destinadas a la generación eléctrica, la cual en la actualidad se encuentra limitada por la capacidad en las fuentes hídricas, permitiendo al país aumentar el nivel de respuesta del sistema eléctrico ante situaciones que comprometan la integridad del mismo, tales como sequías, atentados terroristas y otros.
- Fortalecer la dimensión social en la prestación de servicios públicos fundamentales, posibilitando el suministro eléctrico en áreas rurales apartadas y desintegradas de la estructura de interconexión eléctrica.
- Permitir al sector industrial aumentar la eficiencia y reducir los costos en la producción, con el suministro de energía confiable, de calidad y a precios estables que sean independientes de la hora de consum.
- Ofrecer nuevas oportunidades de negocio para la comercialización de energía en la bolsa, con la conexión de plantas de GD en el sistema de interconexión eléctrica nacional, que puedan suplir la creciente demanda energética en el país. (p. 31-32)

Los beneficios en los DGR's son múltiples, se debería considera para la sedentarización del sistema de generación, debido al potencial de recursos renovables del país.

### **7.1.5. Aprovechamiento de los GDR 's**

Las fuentes convencionales, como los obtenidos de los combustibles fósiles, en comparación a los GDR's no poseen ventajas inherentes a la localización, por otra parte, las fuentes no convencionales como la solar, eólica, biomasa y la cogeneración poseen gran ventaja por la localización, al respecto, Orga (2009), plantea lo siguiente:

- Para el caso de la energía eólica, en algunos casos se puede aprovechar la red existente de distribución de media tensión para proyectos de generación distribuida, si ésta se encuentra en la cercanía de sitios adecuados para el aprovechamiento eólico.
- Para la cogeneración, la generación distribuida es la única alternativa, ya que necesariamente debe situarse la generación eléctrica en el mismo sitio de la generación de vapor.
- Para la generación con residuos de biomasa, la generación distribuida es la mejor alternativa, ya que el transporte de los mismos es económicamente prohibitivo, debiendo quemarse en sitios lo más próximos posible al lugar de su producción.

### **7.1.6. Tecnologías de generación distribuida renovable**

En la generación de la energía eléctrica en pequeña escala, de fuente de energía primaria renovable, las hay de diferentes tipos de tecnologías y constructivos, a continuación, se indican las diferentes tecnologías y los sistemas que integran la generación distribuida renovable:

- Energía solar

Es aquella producida por captación de la luz (energía fotovoltaica), o el calor del sol (termo solar) para la generación de electricidad o la producción de calor. Inagotable y renovable, pues procede del sol, se obtiene por medio de paneles y espejos. (Córdor, 2020, p. 23)

- Energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, molinos de viento de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. (Córdor, 2020, p. 26)

- Energía mini hidráulica

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica, aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y del potencial de las corrientes de los ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía renovable no convencional cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable convencional. (Córdor, 2020, p. 27)

- **Energía geotérmica**

La energía geotérmica es una energía renovable que aprovecha el calor del subsuelo para climatizar y obtener agua caliente sanitaria de forma ecológica. Aunque es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas, sus efectos son espectaculares de admirar en la naturaleza. (Cóndor, 2020, p. 27)

En Guatemala se cuenta con recursos geotérmicos localizados en varios departamentos del país, por la geografía, la mayoría se encuentran a los alrededores de la cadena volcánica.

- **Biomasa**

Esta fuente de energía renovable es de origen vegetal o animal, que en términos energéticos las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis y parte de la energía química queda almacenada en forma de materia orgánica. (Cóndor, 2020, p. 27)

#### **7.1.7. ¿Que son los gases de efecto invernadero?**

Los gases de efecto invernadero permanecen en la atmósfera por períodos que van desde algunos años hasta miles de años. Tienen además un impacto mundial, sin importar dónde fueron emitidos por primera vez. (Parlamento Europeo, 2023)

Los GEI son según el Parlamento Europeo (2021):

- El gas de efecto invernadero es un gas en la atmósfera que actúa como el vidrio en un invernadero: absorbe la energía y el calor del Sol que se irradia desde la superficie de la Tierra, lo atrapa en la atmósfera y evita que escape al espacio.
- Este proceso es la razón principal del efecto invernadero que mantiene la temperatura de la Tierra más caliente de lo que sería de otra manera, permitiendo que exista la vida en la Tierra.
- Muchos de los gases de efecto invernadero se producen naturalmente en la atmósfera, pero la actividad humana agrega cantidades enormes, lo que aumenta el efecto invernadero que está contribuyendo al calentamiento global. (Parlamento Europeo, 2023, párr. 7, 17)

Aparece una definición gubernamental del cambio climático en el que los GEI son:

Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido

nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (Centro UC, Cambio Global, s.f., párr. 1).

#### **7.1.8. Protocolo de Kyoto**

El protocolo de Kioto es uno de los acuerdos más importante de la historia ya que, compromete a los países a reducir sus impactos al cambio climático, como muy bien lo explica el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC):

El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptado en 1997 en Kyoto, Japón, en el tercer período de sesiones de la Conferencia de las Partes (CP) de la CMNUCC. Contiene compromisos jurídicamente vinculantes, que vienen a sumarse a los contenidos en la CMNUCC. Los países señalados en el anexo B del Protocolo (la mayoría de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, y los países de economía en transición) acordaron reducir, entre 2008 y 2012, sus

emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) en un 5 % como mínimo respecto de los niveles de 1990. El Protocolo de Kyoto entró en vigor el 16 de febrero de 2005 (Centro UC, Cambio Global, s.f., párr. 1).

### **7.1.9. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

El dióxido de carbono es un elemento de los gases de efecto invernadero, que más cantidad abunda en la atmosfera del planeta. Es un gas que se produce de forma natural, y también como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa, cambios en los usos del suelo y otros procesos industriales.

Constituye el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es el gas que se toma como referencia para medir otros gases de efecto invernadero y, por lo tanto, tiene un Potencial de Calentamiento Mundial de 1 (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

La IPCC lo define de la siguiente manera:

Gas de origen natural, subproducto también de la combustión de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono fósil, como el petróleo, el gas o el carbón, de la quema de biomasa, y de los cambios de uso del suelo y otros procesos industriales (por ejemplo, producción de cemento). Es el principal gas de efecto invernadero antropógeno que afecta al equilibrio radiactivo de la Tierra. Es el gas utilizado como referencia para medir otros gases de efecto invernadero, por lo que su potencial de calentamiento global es igual a 1 (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2013).

#### **7.1.10. Metano (CH<sub>4</sub>)**

Uno de los seis gases de efecto invernadero que el Protocolo de Kyoto se propone reducir. Es el componente principal del gas natural, y está asociado a todos los hidrocarburos utilizados como combustibles, a la ganadería y a la agricultura (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 2013).

#### **7.1.11. Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)**

Uno de los seis gases de efecto invernadero que el Protocolo de Kyoto se propone reducir. La fuente antropógena principal de óxido nitroso es la agricultura (la gestión del suelo y del estiércol), pero hay también aportaciones importantes provenientes del tratamiento de aguas residuales, del quemado de combustibles fósiles y de los procesos industriales químicos. El óxido nitroso es también producido naturalmente por muy diversas fuentes biológicas presentes en el suelo y en el agua, y particularmente por la acción microbiana en los bosques tropicales húmedos (Panel Intergubernamental sobre el Cambio climático, 2013).

#### **7.1.12. Fuentes de CO<sub>2</sub>**

Se describen las fuentes antropogénicas de emisiones de CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> principalmente se da por las actividades que realiza el ser humano, procedentes de varias fuentes, una gran parte viene de la combustión de combustibles de origen fósiles utilizada en la generación de energía, en el transporte, en los procesos industriales, en los edificios comerciales y residenciales de las grandes metrópolis. La emisión de CO<sub>2</sub> también se da en la producción de cemento, en la producción de hidrogeno verde y durante la combustión de biomasa.

### **7.1.13. Co2 equivalente (CO2e)**

El dióxido equivalente, es un parámetro de medición utilizada indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases, que conforman los GEI como bien lo dice Concentración de CO2 que produciría el mismo nivel de forzamiento radiactivo que una mezcla dada de CO2 y otros gases de efecto invernadero (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

### **7.1.14. Inventario de emisión de gases de efecto invernadero**

El Inventario de GEI se refiere a las estimaciones de las emisiones generadas por la actividad del hombre y la captura que el ser humano promueve de todos los GEI, en la medida de sus posibilidades, utilizando metodologías comparables que promueva y apruebe la conferencia de las partes (Osorio, 2022).

### **7.1.15. El factor de emisión**

El factor de emisión es básicamente un valor que es representativo de una relación existente con la cantidad de contaminante y la actividad que se asocia al a este contaminante.

Los factores de emisión son coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones de un gas por unidad de dato de actividad. Los factores de emisión se basan en mediciones, promediadas en varios niveles de detalle en función de la metodología del nivel utilizado, para desarrollar un tipo representativo de emisión para un nivel de actividad elegido sobre las condiciones de funcionamiento. A menudo se refiere a factores de emisión de nivel 1, 2 o 3 (Osorio, 2022).

La ecuación asociada para el cálculo del valor de este factor es la siguiente:

Emisión de GEI = factor de emisión x dato de actividad

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO REFERENCIAL**

1.1. Estudios previos (recientes)

1.2. Antecedentes

### **2. MARCO TEÓRICO**

2.1. Generación distribuida renovable

2.1.1. Aspectos generales

2.1.2. Funcionamiento

2.1.3. Clasificación de la generación distribuida renovable

2.1.4. Ventajas de la generación distribuida

2.1.5. Aprovechamiento de los GDR's

2.2. Tecnologías de generación distribuida renovable

2.2.1. Energía solar

2.2.2. Energía eólica

- 2.2.3. Energía mini hidráulica
- 2.2.4. Energía geotérmica
- 2.2.5. Biomasa
- 2.3. Gases de efecto invernadero
  - 2.3.1. Definición
  - 2.3.2. Dióxido de carbono
  - 2.3.3. Fuentes de CO<sub>2</sub>
  - 2.3.4. El dióxido de carbono equivalente

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Características del estudio
  - 3.1.1. Diseño
  - 3.1.2. Enfoque
  - 3.1.3. Alcance
  - 3.1.4. Unidad de análisis
- 3.2. Variables
- 3.3. Fases del desarrollo de la investigación
  - 3.3.1. Fase 1
  - 3.3.2. Fase 2
  - 3.3.3. Fase 3
  - 3.3.4. Fase 4
  - 3.3.5. Organización de la información
- 3.4. Determinación de escenarios
- 3.5. Obtención de insumos
- 3.6. Técnicas de análisis de información

### 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Escenarios analizados

- 4.2. Producción de energía de una turbina hidráulica tipo Pelton con rodetes en distintos estados de desgaste
  - 4.3. Costos
    - 4.3.1. Costos del proceso de reacondicionamiento
    - 4.3.2. Costos del proceso de compra de un rodete nuevo
  - 4.5. Discusión de resultados
5. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO (si aplica)
- 5.1. Valor Actual Neto
  - 5.2. Tasa Interna de Retorno

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

En las siguientes líneas se presenta la metodología a utilizar para el desarrollo de esta investigación propuesta, donde se describen el tipo, diseño, alcance, variables e indicadores y por ultimo las fases que conlleva este trabajo de investigación.

### **9.1. Características del estudio**

El enfoque de la investigación tiene carácter directamente cualitativo, porque se manipulan variables del tipo continua, tomando en cuenta la población a estudiar y las muestra, presenta este tipo de características. Por otro lado, el tipo de paradigma que se toma en cuenta para esta investigación es del tipo positivista, ya se analiza y se estudia el objeto.

El alcance de la investigación será del tipo descriptivo, ya que se busca medir las características de las variables en cuestión.

El diseño adoptado será experimental, ya que manipularan intencionalmente las variables para hacer proyecciones y modelos, en base a los datos históricos obtenidos.

La presente investigación es de tipo cuantitativa-descriptiva, esta considera cuantificar la emisión de dióxido de carbono que se emite en la atmosfera, por cada unidad de energía generada por tipo de tecnología asociada a los GDR's. El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

## 9.2. Unidades de análisis

La población de estudio será los generadores distribuidos renovables que se encuentran funcionando en el municipio de Guatemala, de las cuales se estrenaran muestras para la generación de 3MW de energía, para cada tipo de tecnología utilizada en su generación.

## 9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

**Tabla 1.**

*Definiciones de variables*

Variable	Definición teórica	Definición operativa
<b>GDR</b>	Es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW).	Los generadores distribuidos renovables, tiene una capacidad instalada en Guatemala con un máximo de 5 MW, la medición se realizará mensualmente, un factor a tomar en cuenta es la tecnología que depende del caudal del río es la hidráulica, se debe tomar en consideración este tipo de energía en épocas de lluvia.
<b>Co2</b>	El dióxido de carbono (fórmula química CO <sub>2</sub> ) es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar. Está íntimamente relacionado con el efecto invernadero.	En la medición de dióxido de carbono, para el departamento, se estimarán las emisiones indirectas asociadas a la utilización de este recurso, a fin de obtener un factor de emisión local. Este cálculo se realizará en base a las emisiones de co <sub>2</sub> (equivalentes) generadas por el sistema eléctrico durante un año.

Continuación tabla 1.

<b>Variable</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
<b>Demanda</b>	Se conoce como demanda al requerimiento de capacidad de todas las instalaciones eléctricas de los participantes consumidores conectados al SNI y es obligación de ellos contratar la capacidad necesaria para cubrir sus necesidades de potencia.	Es el consumo eléctrico en kw/h, de la industria y los usuarios domiciliarios, las cuales se deben tomar en consideración al momento de calcular las emisiones relacionadas a los gases de efecto invernadero.

*Nota.* Descripción de las definiciones teóricas y operativas de las principales variables de la unidad de análisis. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para realizar esta medición se tomarán datos en condiciones iguales para cada uno de los escenarios y se llenará la siguiente tabla para documentar los resultados:

**Tabla 2.**

*Generación de energía eléctrica a partir de DGR's*

<b>Tecnología</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Pot. Inst. [MW]</b>	<b>Generación [GWh/a]</b>	<b>Potencial [GWh/a]</b>
<b>Biomasa</b>					
<b>Solar</b>					
<b>Biogás</b>					
<b>Hidro</b>					

*Nota.* Formato de tabla para el llenado de datos, resultados del trabajo de campo. Elaboración propia, realizado con Excel.

## **9.4. Fases del estudio**

A continuación, se describirán cuatro de las fases para realizar este estudio, en la cual se describen el proceso de cómo se realizará, indicando las técnicas y las actividades que se asocian para el desarrollo de misma.

### **9.4.1. Fase 1. Revisión bibliográfica**

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, y los inventarios realizados sobre el dióxido de carbono y su relación directa con los generadores distribuidos renovables, tanto nacional como internacional.

### **9.4.2. Fase 2. Gestión o recolección de la información**

En la segunda fase se recopilará la información y se tabulará, según sea la tecnología utilizada en la generación y demanda de la energía. Obteniendo así un base de datos de los parámetros a medir.

Se construye una base de datos a partir de:

- Población local del municipio (consumo /habitante)
- La composición de la matriz energética del municipio de Guatemala, proporcionado por CNEE y AMM.
- El consumo eléctrico por sector, proporcionado por EEGSA.

#### **9.4.3. Fase 3. análisis de información**

En la tercera fase, se desarrollará el análisis estadístico, para determinar la relación que existe entre el dióxido de carbono y la tecnología asociada a este.

Con la cuantificación de la emisión de  $\text{CO}_2$ , se desarrollará una barra de gráfica, con el fin de comunicar, los niveles de emisiones por cada tipo de tecnología que se utiliza en la generación de energía distribuida renovable.

#### **9.4.4. Fase 4. interpretación de información**

En la fase cuatro, se determinará el impacto que puede provocar los GDR's en la contribución de la emisión de  $\text{CO}_2$  en la atmosfera.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

Para analizar la base de datos, se utilizará la herramienta de Excel, para llevar a cabo los cálculos, y las gráficas que se van a presentar, se utilizará estadística descriptiva e inferencial para el tratamiento de los datos. Debido que se busca una relación para dos variables.

Al obtener obtenido los datos del estudio se procederá a realizar un análisis estadístico de la información para poder predecir algunos comportamientos. Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tabla para las potencias instaladas por tipo de tecnología
- Gráfica de las demandas de energía del municipio en cuestión

Las herramientas estadísticas a utilizar serán:

- Análisis de correlación entre variables (potencia vs. Cantidad de Co<sub>2</sub>)
- Medidas de tendencia central: debido a que se reunirán datos, se realizarán los cálculos para determinar la media aritmética y sus desviaciones en cada caso.

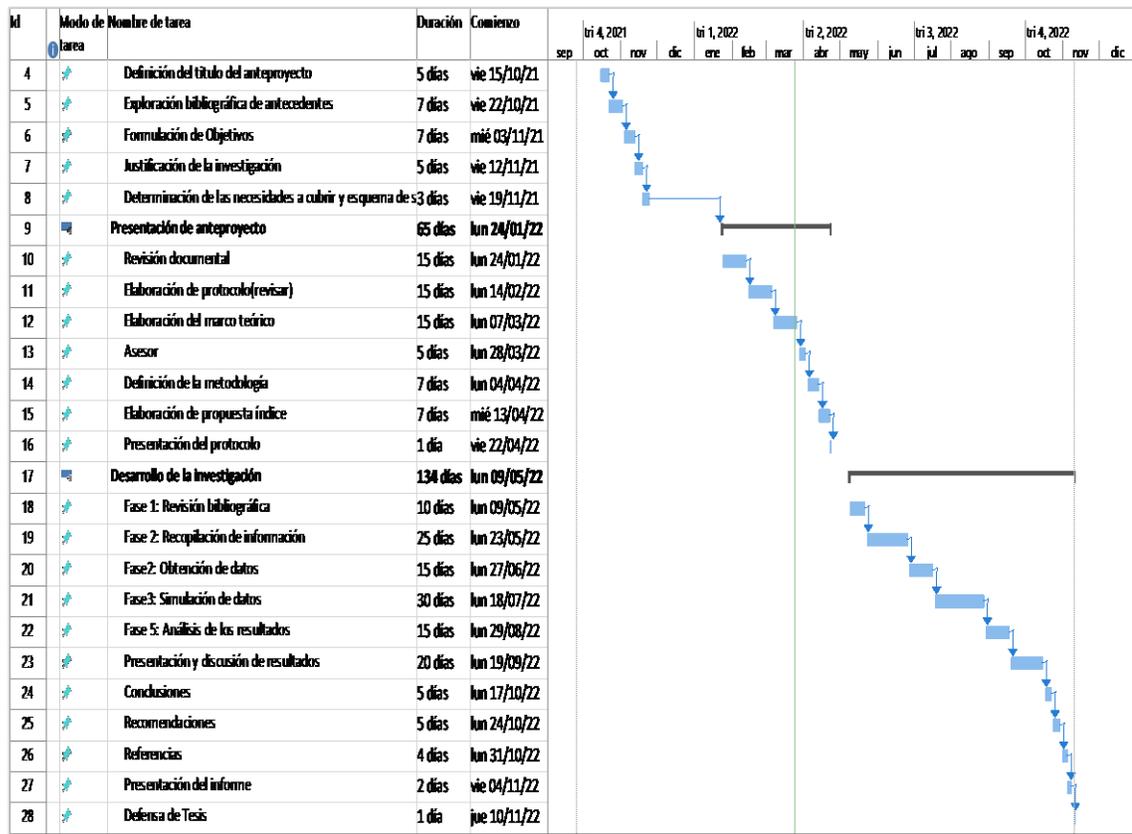


## 11. CRONOGRAMA

En el siguiente apartado se presenta un diagrama de Gantt que da a conocer la planificación y gestión del proyecto de investigación. Permite identificar el trabajo de gabinete a realizar, así como la investigación de campo.

**Figura 1.**

*Cronograma de actividades*



*Nota.* Modelo de cronograma de actividades que permite identificar el nombre de la tarea a realizar, así como su duración. Elaboración propia, realizado con Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

**Tabla 3.**

*Recursos necesarios para la investigación*

<b>Recurso Económico</b>	<b>Costo</b>
<b>Unas resmas de hojas</b>	Q 90.00
<b>Internet</b>	Q 180.00
<b>Impresora</b>	Q 500.00
<b>Asesor</b>	Q 2,500.00
<b>Transporte</b>	Q 500.00
<b>TOTAL</b>	<b>Q 3,770.00</b>

*Nota.* Detalle del presupuesto para la realización del proyecto de investigación. Elaboración propia, realizado en Excel.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.



### 13. REFERENCIAS

- Agente del Mercado Mayorista (2021). *Guatemala 2021: Demanda de energía a nivel departamental*. AMM. <https://rd.amm.org.gt/2022/01/31/demanda-energia-departamental-2021/>
- Centro UC, Cambio Global. (s.f.). *Gas de efecto invernadero (GEI)*. CUC. <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/gas-de-efecto-invernadero-gei>
- Centro UC, Cambio Global. (s.f.). *Protocolo de Kyoto*. CUC. <https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/recursos/glosario/protocolo-de-kyoto>
- CNEE. (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*. Ministerio de Energía y Minas. <https://www.cnee.gob.gt/estudiosselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
- Comisión de Integración Energética Regional. (2021). *Sin frontera para la energía*. CEPAL. [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/foreplen\\_sesion5\\_cier\\_0.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/foreplen_sesion5_cier_0.pdf)

- Cóndor, H. (2020). *Generación distribuida con energía renovables en Perú*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Archivo digital. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4782>
- MARN, SGCCC y PNUD. (2021). *Tercera comunicación nacional sobre cambio climático de Guatemala*. Editorial Universitaria UVG. [https://www.marn.gob.gt/paginas/Direccin\\_de\\_Cambio\\_Climtico](https://www.marn.gob.gt/paginas/Direccin_de_Cambio_Climtico)
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Política energética 2019-2050*. MEM. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Pol%C3%ADtica-Energ%C3%A9tica-2019-2050.pdf>
- Orga, G. (2009). *Análisis de la generación distribuida y su tratamiento regulatorio en el peru*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Archivo digital. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3556>
- Osorio, R. (2022). *Optimizaciones en la gestión de emisiones de gei en una empresa de transmisión eléctrica*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5224>
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. (2013). *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. GT I, OMM. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

Paredes, L., Serrano, B. y Molina, M. (2019). Nuevo paradigma de los sistemas eléctricos: generación distribuida y microrredes eléctricas. un vínculo de accesibilidad a la electricidad en América Latina y el Caribe. *ENERLAC*, 3(2), 88-110.  
<https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/94/54>

Parlamento Europeo. (28 de marzo de 2023). *Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía)*. Sociedad.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>

Ramos, E. (2020). La generación distribuida: El camino hacia la producción descentralizada de electricidad y pautas para su reglamentación. *Forseti. Revista de Derecho*, 8(11), 7-35.  
<https://revistas.up.edu.pe/index.php/forseti/article/view/1255/1443>

Subsecretaria de Energías Renovables y Eficiencia. (2019). *Introducción a la generación distribuida de energías renovables*. Ministerio de Hacienda.  
<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/introduccion-a-la-generacion-distribuida-de-er.pdf>

Zeceña, D. (2018). *Impacto de la generación distribuida renovable en el circuito de media tensión de 13.8 KV La Tinta, en el departamento de Alta Verapaz*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0641\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0641_MT.pdf)

