



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS  
FENÓMENOS “EL NIÑO” Y “LA NIÑA” EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL  
PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**

**David Eduardo Aballi Salvatierra**

Asesorado por el M.A. Ing. Byron Alberto Felipe Ajuchán

Guatemala, noviembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS  
FENÓMENOS “EL NIÑO” Y “LA NIÑA” EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL  
PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA DIRECCIÓN DE LA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
POR

**DAVID EDUARDO ABALLI SALVATIERRA**  
ASESORADO POR EL M.A. ING. BYRON ALBERTO FELIPE AJUCHÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE 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	Ing. 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 Snell Chicol Morales
EXAMINADOR	Ing. Carlos Alberto Navarro Fuentes
EXAMINADOR	Ing. Brian Enrique Chicol Morales
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 LA INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS “EL NIÑO” Y “LA NIÑA” EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de octubre de 2023.

**David Eduardo Aballi Salvatierra**



EEPFI-PP-1581-2023

Guatemala, 12 de octubre de 2023

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

Estimado Mtro. Rivera

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Energias renovables e incidencia en la matriz energética de Guatemala. - Análisis y tendencias en la matriz energética nacional, regional y global**, presentado por el estudiante **David Eduardo Aballi Salvatierra** carnet número **201700879**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión De Mercados Electricos Regulados.

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 Ingenieria 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"*

Byron Alberto Felipe Ajuchán  
Ingeniero Electricista  
Colegiado No. 15,232

Mtro. Byron Alberto Felipe Ajuchán  
Asesor(a)

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



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingenieria





EEP-EIME-1442-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingeniería 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 INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS EL NIÑO Y LA NIÑA EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **David Eduardo Aballi Salvatierra**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



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

Guatemala, octubre de 2023

Decanato  
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.136.2023

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 INVESTIGACIÓN DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DE LOS FENÓMENOS “EL NIÑO” Y “LA NIÑA” EN EL COSTO TOTAL DE OPERACIÓN DEL PARQUE GENERADOR DE ELECTRICIDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **David Eduardo Aballi Salvatierra** 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: 10/11/2023 16:41:33  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.



Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, noviembre 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: 136 CUI: 3005889410101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (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 en conjunto de sabiduría y una vida saludable, la oportunidad de estudiar.
<b>Mi padre</b>	Por su apoyo, mentorías, enseñanzas y cariño a lo largo de mi vida y la carrera.
<b>Mi madre</b>	Por su amor incondicional, apoyo y consejos a lo largo de mi vida y carrera.
<b>Mi hermano</b>	Pablo Enrique Aballi Salvatierra (q. d. e. p.). Por acompañarme a lo largo de mi infancia y ayudarme a ser quien soy.
<b>Mis abuelos</b>	Lázaro Salvatierra, María Borge, Hildegart Herwig, Miguel Aballi y María Cristina de Paz. Por ser parte fundamental de mi vida.
<b>Mi novia</b>	Por apoyarme y amarme en esta etapa de mi vida y motivarme a ser mejor cada día.
<b>Amigos</b>	Erick de León, José Alvizures, Alejandro Saenz, Joel Estrada, Marco López y Mariana Barrientos. Por su amistad, consejos y anécdotas que no se olvidarán.

## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
<b>Ingenio San Diego</b>	Por haberme brindado la oportunidad de realizar este diseño de investigación.
<b>Mi asesor</b>	M.A. Ing. Byron Alberto Felipe Ajuchán, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
<b>Mi familia</b>	Mis tíos, primos, sobrinos y demás familiares por brindarme su amor y apoyo a lo largo de mi carrera.
<b>Personal Ingenio San Diego</b>	Por su apoyo, enseñanzas y consejos a lo largo de mi carrera profesional.
<b>Amigos en general</b>	Por su compañía y cariño.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Contexto general .....	11
3.2. Descripción del problema .....	12
3.3. Formulación del problema .....	13
3.3.1. Pregunta central .....	13
3.3.2. Preguntas auxiliares .....	13
3.4. Delimitación del problema .....	14
3.4.1. Delimitación contextual .....	14
3.4.2. Delimitación geográfica .....	15
3.4.3. Delimitación histórica .....	15
4. JUSTIFICACIÓN .....	17
5. OBJETIVOS .....	19
5.1. General .....	19
5.2. Específicos .....	19
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	21

7.	MARCO TEÓRICO .....	25
7.1.	Parque generador de electricidad .....	25
7.1.1.	Composición del parque generador de electricidad guatemalteco.....	25
7.2.	Costo operativo .....	32
7.2.1.	Unidades térmicas.....	33
7.2.2.	Unidades hidroeléctricas .....	34
7.2.3.	Unidades generadoras basadas en recursos renovables no hidráulicos.....	34
7.3.	Precio de oportunidad de la energía .....	35
7.3.1.	Costo marginal de corto plazo.....	36
7.3.2.	Unidad generadora marginal .....	36
7.4.	Generación forzada.....	37
7.4.1.	Origen de la generación forzada .....	38
7.4.2.	Pago de sobrecostos por generación forzada .....	41
7.5.	Cargos por servicios complementarios .....	42
7.5.1.	Reserva rápida .....	43
7.5.2.	Reserva rodante operativa .....	45
7.6.	El Niño oscilación del sur (ENOS).....	46
7.6.1.	Fenómenos El Niño .....	46
7.6.2.	Fenómeno La Niña .....	47
7.6.3.	Años de efecto .....	47
8.	MARCO CONCEPTUAL .....	49
8.1.	Mercado Eléctrico de Guatemala .....	49
8.2.	Administrador del Mercado Mayorista .....	50
8.3.	Costo variable de generación.....	51
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	53

10.	METODOLOGÍA.....	57
10.1.	Características del estudio .....	57
10.1.1.	Enfoque .....	57
10.1.2.	Diseño .....	57
10.1.3.	Alcance.....	58
10.1.4.	Unidades de análisis.....	58
10.2.	Variables.....	58
10.3.	Fases del estudio .....	61
10.3.1.	Fase 1: consultas bibliográficas.....	61
10.3.2.	Fase 2: recolección de datos.....	61
10.3.3.	Fase 3: cálculo de costos operativos horarios y mensuales de cada máquina que compone el parque generador de electricidad guatemalteco.....	62
10.3.4.	Fase 4: identificación de las causas y los costos de la generación forzada en conjunto con los cargos por servicios complementarios.....	62
10.3.5.	Fase 5: estimación del costo operativo total del parque generador de electricidad de Guatemala en los años de estudio.....	63
10.3.6.	Fase 6: elaboración de gráficas para análisis e identificación de las causas principales de las diferencias del costo operativo estimado del año 2022 y 2023.....	63
10.4.	Resultados esperados .....	64
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	67
11.1.	Censo .....	67
11.2.	Análisis descriptivo .....	68

12. CRONOGRAMA .....	71
13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	73
REFERENCIAS .....	75
DOCUMENTACIÓN DEL ASESOR .....	79
APÉNDICES .....	81

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Generación forzada .....	38
<b>Figura 2.</b>	Asignación de cargos por generación forzada .....	42
<b>Figura 3.</b>	Curriculum vitae de asesor .....	80

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Composición parque generador de electricidad guatemalteco ....	26
<b>Tabla 2.</b>	Acrónimos y artículos del origen de la generación forzada.....	40
<b>Tabla 3.</b>	Liquidación de reserva rápida.....	44
<b>Tabla 4.</b>	Liquidación de reserva rodante operativa .....	45
<b>Tabla 5.</b>	índice oceánico del Niño (ONI) .....	48
<b>Tabla 6.</b>	Definición teórica y operativa de las variables .....	59
<b>Tabla 7.</b>	Clasificación de variables .....	60
<b>Tabla 8.</b>	Base de datos propuesta .....	62
<b>Tabla 9.</b>	Cronograma de actividades .....	71
<b>Tabla 10.</b>	Recursos necesarios para la investigación.....	73



## 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo principal el conocer y esclarecer el cómo los dos comportamientos del fenómeno ENOS conocidos como El Niño (temporada seca) y La Niña (temporada húmeda), afectan al costo de operación estimado total del parque generador de electricidad de Guatemala. Se analizarán los efectos de estos fenómenos en los años más recientes afectados por estos, siendo estos 2022 para La Niña y 2023 para El Niño.

Esta investigación se basa en una sistematización, ya que se realizará una organización, estructuración y análisis de la información y datos a lo largo del trabajo. Se buscará expresar la información de manera clara y precisa a lo largo de esta tesis para posteriormente realizar una evaluación crítica de la calidad de los datos y la validez de los resultados obtenidos.

El origen de esta investigación nace de la necesidad del área comercial de un ingenio cogenerador de electricidad de conocer los efectos que ocasionan los fenómenos El Niño y La Niña en el comportamiento del parque generador de electricidad guatemalteco. Ya que la incidencia del clima afecta directamente en la planificación de compra de combustibles fósiles y en la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la generación de energía.

Para desarrollar esta investigación, primeramente, se iniciará recopilando toda la información relacionada a los dos últimos años de la energía horaria generada por cada unidad generadora que conforma el parque generador de electricidad guatemalteco, en conjunto con el costo operativo horario de cada

una de estas unidades generadoras. Se creará una base de datos y se realizarán los cálculos respectivos en donde se multiplicará cada megavatio hora (MWh) generado por su costo operativo respectivo y a este resultado se le añadirá los costos por servicios complementarios de cada mes del año. Con esto se hallarán los costos de operación totales estimados del parque generador de electricidad para el año afectado por El Niño y para el afectado por La Niña.

La realización de esta investigación se considera económicamente factible, dado que se cuenta con el respaldo de herramientas proporcionadas por la empresa donde trabaja el autor de la tesis. Además, se dispone de libre acceso a la información necesaria para llevar a cabo este estudio, lo que garantiza un desarrollo sin inconvenientes.

La estructura de esta tesis se inicia con la presentación del índice general, el índice de ilustraciones y el índice de tablas que proporcionarán una visión general de los contenidos del trabajo. A continuación, se incluye la lista de símbolos y el glosario, destinados a facilitar la comprensión de los términos utilizados en la investigación.

En el siguiente apartado, se ofrece un resumen del trabajo de investigación, que brinda una breve descripción de la idea central y los objetivos propuestos. Posteriormente, se aborda el planteamiento del problema, en donde se detalla que el parque generador de electricidad guatemalteco depende en gran medida de la generación hidroeléctrica, por lo cual lo hace vulnerable a cambios climáticos muy bruscos.

Posteriormente se detallan los objetivos de la investigación, los cuales van enfocados en determinar el impacto que ocasionan los fenómenos

meteorológicos El Niño y La Niña en el costo total de operación total estimado del parque generador de electricidad de Guatemala.

Posteriormente, se presenta el marco de referencia, donde se exponen los antecedentes en lo que se basa el estudio, apoyándose en investigaciones que detallan cómo el fenómeno El Niño y La Niña afectan a mercados eléctricos de otros países como el colombiano. También se analizan estudios que tratan temas de los costos marginales, e indicadores de los sistemas nacionales interconectados, entre otros.

Seguidamente, se desarrolla el marco teórico, que incluye la explicación de conceptos clave como el parque generador de electricidad guatemalteco, costo operativo, precio de oportunidad de la energía, generación forzada, cargos por servicios complementarios, el fenómeno el niño-oscilación del sur (ENOS) y sus años de efecto.

Con el fin de proporcionar una comprensión más completa, se presenta el marco conceptual, donde se definen brevemente el mercado eléctrico de Guatemala, el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y el costo variable de generación. Luego, se describe el marco metodológico, abordando el enfoque, el cual será de medición cuantitativa, el diseño, que se optará por uno no experimental, alcance del estudio, las variables que serán cuantitativas continuas, las fases de desarrollo y los resultados esperados.

En el penúltimo capítulo de esta tesis, se presentarán los resultados obtenidos. Se detallará las diferencias entre los costos operativos, qué tecnologías se utilizaron más durante los años de estudio. Se explicará el comportamiento del precio de oportunidad de la energía y un análisis de la cantidad de sobrecostos por generación forzada y los cargos por servicios

complementarios que componen el costo operativo del parque generador de electricidad guatemalteco en el año 2022 y 2023.

Por último, se discutirán los resultados obtenidos. Se buscará explicar cómo impactan el fenómeno El Niño y La Niña en el costo operativo del parque generador de electricidad de Guatemala. Se analizará el porqué del comportamiento del POE durante los años de estudio y se discutirá cuál es el causante con mayor influencia en la diferencia entre los costos operativos estimados calculados del parque generador de electricidad de Guatemala.

## 2. ANTECEDENTES

En los últimos años, se han llevado a cabo estudios e investigaciones para comprender el impacto de los fenómenos meteorológicos de El Niño y La Niña en diversos aspectos, como el estudio de cómo se conforma la matriz energética de los países y su dependencia en combustibles fósiles junto con la volatilidad del mercado eléctrico en relación con las condiciones climáticas extremas. Estos estudios han abordado variables cruciales, como el costo marginal del mercado, que nos sirve para analizar el comportamiento de los precios de la energía durante estos eventos climáticos extremos. Los resultados han revelado que tanto El Niño como La Niña tienen un impacto directo en la oferta y demanda de energía en las regiones afectadas.

Además, se ha examinado el impacto que tienen estos fenómenos en la generación hidroeléctrica. Durante El Niño, la disminución del caudal de los ríos y la reducción de las reservas de agua en las represas pueden limitar la capacidad de producción hidroeléctrica, llevando a un aumento del uso de otras fuentes de energía más costosas. En contraste, durante La Niña, la mayor cantidad de precipitaciones y el aumento del caudal de los ríos favorecen la generación hidroeléctrica y pueden disminuir los costos de producción.

También es importante destacar que la dependencia de combustibles fósiles en el país desempeña un papel significativo en cómo se afrontan los desafíos energéticos durante estos eventos climáticos. Las fluctuaciones en los precios internacionales de los combustibles pueden afectar la estabilidad del suministro de energía y la capacidad de respuesta ante situaciones de alta demanda o escasez de recursos.

Además, la volatilidad del mercado energético en relación con el clima añade otra capa de complejidad a la gestión de la oferta y demanda de energía durante los fenómenos de El Niño y La Niña. Las condiciones climáticas extremas pueden alterar la producción y distribución de energía, lo que conlleva ajustes en los precios y en la disponibilidad de recursos energéticos.

Se empieza estudiando el trabajo titulado Impacto sobre el bienestar social atribuido al fenómeno El Niño (ENOS) y al proceso de cambio climático. Un análisis sobre el mercado de energía colombiano de Ariza (2014), este documento aborda el tema del impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en el mercado de energía eléctrica en Colombia y el bienestar de los consumidores. Se destaca la relación entre el cambio climático y el aumento en la frecuencia e intensidad de estos eventos climatológicos extremos, específicamente el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). En el contexto colombiano, se observa una asociación entre el cambio climático y perturbaciones hidroclimáticas significativas, como la reducción de la precipitación promedio anual y el aumento de la temperatura media mensual del aire, atribuidas a la ocurrencia de ENOS.

El estudio de Ariza (2014), define al fenómeno El Niño (ENOS), como al proceso de cambio climático, y se les señala como los responsables de una serie de impactos de elevada magnitud sobre el medio ambiente y los sistemas socioeconómicos que se ubican en sus áreas de influencia; y que dada la magnitud de estos nace el interés de estimar su dimensión en términos económicos, para desde allí soportar la implementación de estrategias que busquen su mitigación o que permitan reducir los riesgos asociados.

Posteriormente se busca apoyo en artículo titulado Estimación del precio marginal del sistema eléctrico colombiano: una mirada desde la organización

industrial de Duarte y García (2015). Este nos brinda un enfoque sobre cómo los fenómenos El Niño y La Niña impactan el mercado eléctrico en Colombia. Se analiza el comportamiento estratégico de las empresas generadoras de energía y cómo responden a cambios en la demanda y concentración del mercado.

Duarte y García (2015) indica que “la serie del precio spot colombiano se caracteriza por tener saltos o cambios de nivel que se deben a cambios extremos de oferta y demanda generalmente ocasionados por fenómenos de El Niño o La Niña” (p. 8). Lo cual nos sugiere que los hallazgos de este estudio nos ayudarán a comprender cómo los eventos climáticos extremos pueden influir en la dinámica competitiva y en las estrategias de las empresas generadoras en el mercado eléctrico.

La tesis titulada Sistema de monitoreo de mercado eléctrico y aplicación de indicadores en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional de Mendoza (2015), será enriquecedora, ya que esta nos ofrece un estudio que aborda la introducción de competencia en los mercados eléctricos y resalta la relevancia de los Sistemas de Monitoreo de Mercado (SMM), que se componen de un conjunto de indicadores y herramientas modernas para supervisar el sistema eléctrico y la conducta de los participantes en el mercado. Estos indicadores permiten seguir el desempeño y la seguridad del sistema.

Uno de los aspectos clave destacados de la tesis es la importancia de identificar el costo marginal como un indicador fundamental en el mercado de energía eléctrica. El costo marginal desempeña un papel crucial en la determinación de los precios de la electricidad y es una herramienta valiosa para evaluar el comportamiento estratégico de las empresas generadoras en el mercado.

Mendoza (2015) indica que “las subidas de los costos marginales indican el nivel de estiaje, pues la generación hidráulica disminuye y se hace uso intensivo de las unidades térmicas” (p. 82). Por lo cual el realizar el análisis del costo marginal en relación con los eventos climatológicos extremos, como El Niño y La Niña, es relevante para comprender cómo estos fenómenos pueden afectar directamente los precios de la energía y en nuestro caso de estudio, el costo operativo del mercado eléctrico.

También se apoyará este estudio en el artículo titulado *El mercado eléctrico mayorista: agentes y modelos de organización*, de Lozano (2018). Este artículo trata sobre los modelos de mercados eléctricos competitivos y ofrecerá una valiosa contribución al proporcionar una comprensión más profunda de la matriz energética y su variación en relación con el clima.

Según Lozano (2018) “de acuerdo a la disponibilidad de recursos de cada país, todas estas tecnologías pueden ser combinadas para lograr un suministro eficiente de energía eléctrica y al menor costo posible” (p. 02). Es decir, conociendo la situación en la que se encuentra la matriz energética en cada escenario de los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña, nos permitirá evaluar cómo se ajusta la oferta y demanda de energía durante situaciones críticas.

Por último, se estudiará el artículo de la Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible titulado *Trayectoria tecnológica de los mercados eléctricos en Centroamérica* elaborado por Vargas (2015). Este estudio sobre las estructuras institucionales del mercado eléctrico en Centroamérica, enfocado en los modelos de Guatemala, El Salvador y Costa Rica, proporcionará un análisis detallado de la evolución tecnológica de estos países y su relación con las

características geológicas e hidrográficas, así como su dependencia en combustibles fósiles.

En el caso de Guatemala enfrenta desafíos en cuanto a la dependencia de combustibles fósiles en su matriz energética. El país tiene características geológicas que han influido en la disponibilidad de recursos naturales para la generación de energía. Guatemala cuenta con recursos geotérmicos significativos, pero todavía presenta una alta dependencia en combustibles fósiles, como el petróleo, para cubrir la demanda energética.

La dependencia en combustibles fósiles en Guatemala no solo afecta su sostenibilidad ambiental, sino que también lo hace vulnerable a los cambios en los precios internacionales de los combustibles y a la volatilidad del mercado energético global. Como menciona acerca de nuestra zona Vargas (2015) en su estudio “por su posición geográfica y sus características geológicas e hidrográficas, se encuentra entre los puntos más vulnerables a las afectaciones del cambio climático global, así como a manifestaciones más graves como los desastres naturales” (p. 2). Así que este estudio proporcionará información valiosa sobre la relación entre las estructuras institucionales del mercado eléctrico, las características geológicas e hidrográficas de estos países y su dependencia en combustibles fósiles.



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

En la actualidad, en el ámbito del comportamiento del parque generador de electricidad guatemalteco durante eventos extremos como El Niño y La Niña, se ha observado una escasez de estudios que analicen los efectos de estos fenómenos en el costo operativo del parque generador de electricidad guatemalteco. Esta falta de información dificulta a los integrantes del mercado prever acciones para su beneficio económico y administrativo dentro del mismo. Por lo tanto, surge la necesidad de proponer un análisis que permite evaluar y cuantificar los impactos del fenómeno El Niño y La Niña en el comportamiento del parque generador de electricidad guatemalteco, brindando así una herramienta útil para los agentes involucrados en la toma de decisiones estratégicas y operativas durante estos eventos climáticos.

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

En el contexto del departamento comercial de un ingenio cogenerador de electricidad y energía, se plantea un desafío significativo. La variabilidad climática asociada con fenómenos como El Niño y La Niña impacta de manera directa en la capacidad de planificación de la compra de combustible y en la toma de decisiones estratégicas. La ocurrencia y la intensidad de estos fenómenos climáticos influyen de manera crucial en la disponibilidad de recursos naturales esenciales para la operación. Esta incertidumbre climática no solo afecta la planificación de compra de combustible, sino que también incide en las decisiones concernientes a la generación de energía y a la participación en el Mercado Eléctrico Regional, donde se evalúa de manera constante la

exportación e importación de energía en función de la tendencia de los costos operativos del parque generador de electricidad.

### **3.2. Descripción del problema**

El parque generador de electricidad guatemalteco se caracteriza por depender en gran medida de la generación hidroeléctrica como fuente principal de energía. Sin embargo, esta dependencia también lo hace vulnerable a factores climáticos y variaciones en los patrones de precipitación, especialmente a aquellos relacionados con los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña. Estos eventos climáticos periódicos, que se manifiestan por el calentamiento y enfriamiento de las temperaturas superficiales del Océano Pacífico tropical, respectivamente, pueden tener un impacto significativo en el clima y las condiciones hidrológicas en Guatemala.

Durante eventos El Niño, se tiende a experimentar sequías más prolongadas y temperaturas más altas, lo que reduce los niveles de agua en las represas y disminuye la capacidad de generación hidroeléctrica. Por otro lado, en eventos La Niña, las precipitaciones pueden aumentar y generar mayores caudales, lo que puede afectar el manejo de la generación hidroeléctrica.

Estas fluctuaciones climáticas pueden tener consecuencias directas en el costo de operación del parque generador de electricidad guatemalteco, ya que la generación hidroeléctrica es una fuente económica y sostenible de energía. La variabilidad en la disponibilidad de recursos hídricos puede requerir un mayor uso de fuentes de energía más costosas, como combustibles fósiles, para compensar la menor generación hidroeléctrica durante los eventos climáticos extremos.

Por tanto, es fundamental investigar y analizar cómo los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña afectan los costos operativos del parque generador de electricidad eléctrica guatemalteco. Comprender estas dinámicas permitirá a los actores del sector eléctrico y a las autoridades correspondientes tomar decisiones informadas para mejorar la resiliencia del sistema eléctrico ante eventos climáticos extremos. Además, esta investigación puede proporcionar información valiosa para el desarrollo de políticas y estrategias que reduzcan los riesgos asociados a las fluctuaciones climáticas y promuevan una mayor sostenibilidad en el suministro eléctrico del país.

### **3.3. Formulación del problema**

La situación descrita anteriormente permite plantear una interrogante central:

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

¿Cómo afectan los fenómenos climáticos “El Niño” y “La Niña” al costo de operación total estimado del parque generador de electricidad de Guatemala?

#### **3.3.2. Preguntas Auxiliares**

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo se calcularán los costos operativos estimados del parque generador de electricidad guatemalteco para los años de estudio?

- ¿Qué efecto causan estos fenómenos meteorológicos en el precio de oportunidad de la energía del parque generador de electricidad de Guatemala?
- ¿Cuáles son las causas principales de las diferencias de los costos operativos estimados del parque generador de electricidad guatemalteco en los años de estudio?

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

A continuación, se presenta la delimitación contextual, geográfica e histórica de la problemática que será abordada en este estudio.

#### **3.4.1. Delimitación contextual**

Se busca llevar a cabo un estudio que analice los efectos de los fenómenos climáticos en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco. El propósito de este estudio es ofrecer a todos los agentes involucrados en el mercado mayorista guatemalteco información confiable que les permita tomar decisiones fundamentadas en sus planificaciones y estimaciones futuras, considerando el tipo de año estacional en el que se encuentren. La meta principal es proporcionar un antecedente que sirva como guía para la toma de decisiones en el mercado eléctrico y facilite la adaptación a las condiciones climáticas cambiantes.

### **3.4.2. Delimitación geográfica**

Para enfocar el estudio de manera precisa, se delimitará geográficamente en Guatemala. Se estudiará los efectos de estos fenómenos meteorológicos en la matriz energética guatemalteca.

### **3.4.3. Delimitación histórica**

Se ha tomado la decisión de llevar a cabo una delimitación histórica basada en los períodos más recientes en los que se manifestaron estos fenómenos meteorológicos. En este sentido, se ha escogido el año 2023 para el estudio de El Niño y el año 2022 para el estudio de La Niña.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Se presenta el siguiente diseño de investigación de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados que se apoya en las líneas de investigación análisis y tendencias en la matriz energética nacional, regional y global, estructura y dinámica del mercado eléctrico y sus impactos en la economía nacional y global y análisis e impactos de la variabilidad climática en los sistemas energéticos centrándose en el estudio planteado del impacto de los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco.

La tesis planteada generará dos herramientas valiosas. En primer lugar, un análisis sobre los efectos específicos de los fenómenos El Niño y La Niña en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco, lo cual brindará una visión aproximada sobre las implicaciones económicas de estos eventos en el sector eléctrico del país. En segundo lugar, se proporcionará una guía detallada para calcular el costo operativo del parque generador de electricidad guatemalteco, lo que será de gran utilidad para los actores del mercado eléctrico al facilitar la comprensión y evaluación de los costos asociados con estos fenómenos climáticos.

Al proporcionar información esencial para identificar riesgos y oportunidades en la convocatoria de estos agentes por despacho económico, el estudio facilitará una planificación más eficaz y mejorará su gestión en el mercado eléctrico en respuesta a los fenómenos El Niño y La Niña. Este enfoque contribuirá significativamente a la sostenibilidad y resiliencia del sector eléctrico en Guatemala.

Esta tesis posee una pertinencia y relevancia social significativas. La información detallada sobre el impacto de los fenómenos climáticos extremos en el costo operativo del parque generador de electricidad podrá brindar a autoridades de regulación tomar decisiones más informadas y estratégicas. Incitará el desarrollo de fuentes de energía resilientes y la promoción de la diversificación de la matriz energética, junto con una mejor comprensión del impacto de El Niño y La Niña, permitirá al subsector eléctrico optimizar la gestión de recursos y operaciones, asegurando un suministro eléctrico confiable y eficiente que beneficiará a la población guatemalteca y promoverá la sostenibilidad a largo plazo en el sector eléctrico.

En el ámbito profesional, esta investigación está estrechamente relacionada con la maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados. El enfoque en el mercado eléctrico guatemalteco y el análisis de cómo estos fenómenos meteorológicos afectan el costo operativo del parque generador de electricidad y las fuentes de generación de energía, abordan temas económicos cruciales como lo son costos marginales, costos por servicios complementarios, sobrecostos por generación forzada, entre otros. Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto significativo en la toma de decisiones y la eficiencia operativa en el mercado eléctrico, proporcionando conocimientos valiosos para futuras investigaciones y el desarrollo profesional en el campo de la gestión de mercados eléctricos regulados.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Determinar el impacto que ocasionan los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el costo total de operación total estimado del parque generador de electricidad de Guatemala.

### **5.2. Específicos**

1. Calcular el costo total de operación estimado del parque generador de electricidad guatemalteco para los años de estudio.
2. Identificar las principales causas de las diferencias de los costos operativos estimados del objeto de análisis.
3. Estimar el efecto de los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el precio de oportunidad de la energía del parque generador de electricidad de Guatemala.



## 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo abordar las necesidades de analizar el impacto que generan los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el costo de operación total estimado del parque generador de electricidad guatemalteco, con el propósito de mejorar la toma de decisiones de los agentes generadores del mercado eléctrico guatemalteco. Al ofrecer información sobre el comportamiento del mercado según los patrones climáticos, se busca enriquecer la dinámica y eficiencia del mercado eléctrico nacional. Se busca que este estudio sea de apoyo los agentes generadores, permitiéndoles mejorar sus planificaciones de generación y suministro de combustible en conjunto de la planificación de su participación en el mercado eléctrico regional, brindándoles un antecedente que les permita tomar decisiones sobre la exportación e importación de energía en función de la tendencia de los costos operativos del parque generador de electricidad.

Para realizar este estudio, primero se delimitarán los años de estudio, los cuales serán el año 2022 para un año con condiciones climáticas afectadas por La Niña y el año 2023 para un año afectado por El Niño. Se investigará, para cada año de estudio, la carga horaria de cada día de las unidades que componen el parque generador de electricidad guatemalteco y se hallarán los costos variables de generación (CVG) de cada unidad generadora, se multiplicarán estos factores para para determinar el costo operativo del parque generador. Posteriormente, se le sumarán los cargos por servicios complementarios y así se determinará el costo operativo del parque generador de electricidad guatemalteco para cada año de estudio.

El alcance de este estudio puede cubrir el análisis de necesidades cruciales a nivel país relacionadas con la seguridad energética, la eficiencia económica y la resiliencia del parque generador de electricidad guatemalteco ante fenómenos naturales. Al analizar el impacto de los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco, se proporciona una base que puede servir para determinar las fallas en la planificación de convocatoria de máquinas generadoras y así mejorar la gestión en las programaciones y proyecciones brindadas por el ente operador.

El presente estudio se enfoca en analizar datos recientes, incluyendo el año en curso durante la investigación, con el objetivo de evaluar el impacto de los fenómenos meteorológicos El Niño y La Niña en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco. Esta elección metodológica permite obtener resultados actualizados y aproximados que reflejen la dinámica del mercado eléctrico en la actualidad.

El estudio y la problemática planteada son altamente pertinentes en el ámbito de la práctica profesional de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, realizando análisis reales del sector eléctrico del país. Al proporcionar información práctica y aplicable para la toma de decisiones en la gestión de recursos y estrategias de generación, resulta fundamental para los profesionales del mercado eléctrico en Guatemala. Además, su enfoque destaca la importancia de combinar conocimientos climáticos y económicos para abordar de manera integral los problemas en la gestión de mercados eléctricos.

La información requerida para el estudio proviene de fuentes de acceso público, como lo son los informes diarios, mensuales y anuales proporcionados por el AMM. Esta información se almacenará en una base de datos elaborada

en Microsoft Excel. Todos los cálculos se basarán en las Normativas de Coordinación Comercial y Operativas vigentes, garantizando la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Parque generador de electricidad**

Un parque generador de electricidad es un conjunto de instalaciones y equipos diseñados para producir electricidad. Estos parques pueden estar compuestos por diversas fuentes de energía, como centrales térmicas, plantas hidroeléctricas, parques eólicos, plantas solares fotovoltaicas, entre otros. Su función principal es convertir diferentes formas de energía, como la energía mecánica, química o solar, en electricidad que luego se distribuye a la red eléctrica para su consumo por parte de los usuarios finales. Los parques generadores, como indica Lutín (2020), tienen la función principal generar electricidad para abastecer la demanda de la misma.

#### **7.1.1. Composición del parque generador de electricidad guatemalteco**

La generación de energía del parque generador de electricidad guatemalteco está compuesta por cuatro principales tipos de plantas de generación, las cuales son: las plantas hidráulicas, plantas eólicas, plantas solares y las plantas térmicas, en donde estas últimas se pueden dividir en cinco tipos de tecnología que son las turbinas de vapor, cogeneradores por turbina de vapor, geotérmicas, motores reciprocares y turbinas de gas.

El costo operativo de las unidades generadoras depende directamente del combustible con el que operan, comúnmente las plantas generadoras que

utilizan combustibles renovables, como lo son las plantas hidroeléctricas, solares, eólicas, geotérmicas y los ingenios cogeneradores en época de zafra son las de menor costo variable y los que utilizan combustibles no renovables, es decir combustibles fósiles como los motores reciprocatos, las turbinas de gas y vapor y los ingenios cogeneradores en época de no zafra, son los de mayor costo variable de generación. En la siguiente tabla se describe la composición total del parque generador de electricidad de Guatemala al año 2023.

**Tabla 1.**

*Composición del parque generador de electricidad guatemalteco*

Plantas generadoras	Potencia efectiva (MW)	Combustible
<b>HIDROELÉCTRICAS</b>	<b>1,415.5691</b>	
CHIXOY	286.5770	Aqua
HIDRO XACBAL	98.0080	Aqua
PALO VIEJO	88.1920	Aqua
AGUACAPA	81.2830	Aqua
JURÚN MARINALÁ	60.3750	Aqua
RENACE	65.1591	Aqua
HIDRO CANADÁ	45.9280	Aqua
LAS VACAS	41.2190	Aqua
EL RECREO	25.3090	Aqua
SECACAO	16.1350	Aqua
LOS ESCLAVOS	13.5030	Aqua
MONTECRISTO	13.0420	Aqua
PASABIEN	12.6010	Aqua
MATANZAS	11.8080	Aqua
POZA VERDE	9.9180	Aqua
RIO BOBOS	10.3100	Aqua
CHOLOMA	9.6530	Aqua
SANTA TERESA	16.8000	Aqua

Continuación de la tabla 1.

Plantas generadoras	Potencia efectiva (MW)	Combustible
PANAN	7.5220	Aqua
SANTA MARÍA	6.0290	Aqua
PALÍN II	4.2220	Aqua
CANDELARIA	4.4150	Aqua
SAN ISIDRO	3.4210	Aqua
EL SALTO	3.5750	Aqua
CHICHAÍC	0.4560	Aqua
VISION DE ÁGUILA	2.0820	Aqua
EL MANANTIAL I	3.2530	Aqua
EL MANANTIAL II	22.0310	Aqua
EL CÓBANO	9.1570	Aqua
OXEC	23.7020	Aqua
HIDROELÉCTRICA LA LIBERTAD	9.4940	Aqua
RENACE II	107.1970	Aqua
RAAXHA	5.0220	Aqua
HIDROELÉCTRICA LAS FUENTES II	13.6670	Aqua
HIDROELÉCTRICA EL CAFETAL	8.5500	Aqua
HIDROELÉCTRICA FINCA LORENA	4.4560	Aqua
RENACE III	67.0160	Aqua
EL RECREO II	21.9850	Aqua
XACBAL DELTA	58.9930	Aqua
EL MANANTIAL III	0.4380	Aqua
OXEC II	58.9470	Aqua
RENACE IV	51.2340	Aqua
EL MANANTIAL IV	12.8850	Aqua
<b>Generador distribuido renovable (HIDRO)</b>	<b>96.9940</b>	
HIDROELÉCTRICA SANTA ELENA	0.5600	Aqua
KAPLAN CHAPINA	1.6950	Aqua
HIDROELÉCTRICA CUEVA MARÍA	2.1000	Aqua

Continuación de la tabla 1.

<b>Plantas generadoras</b>	<b>Potencia efectiva (MW)</b>	<b>Combustible</b>
HIDROELÉCTRICA CUEVA MARÍA II	2.8500	Aqua
HIDROELÉCTRICA LOS CERROS	1.2500	Aqua
HIDROELÉCTRICA COVADONGA	1.5000	Aqua
HIDROELÉCTRICA JÉSBON MARAVILLAS	0.7500	Aqua
HIDROELÉCTRICA EL PRADO	0.5000	Aqua
HIDROELÉCTRICA FINCA LAS MARGARITAS	0.4380	Aqua
HIDROPOWER SDMM	2.0830	Aqua
HIDROELÉCTRICA LA PERLA	3.7860	Aqua
HIDROELÉCTRICA SACJA	2.0000	Aqua
HIDROELÉCTRICA SAN JOAQUIN II	0.9500	Aqua
HIDROELÉCTRICA LUARCA	1.0200	Aqua
HIDROELÉCTRICA FINCA LAS MARGARITAS	1.6000	Aqua
FASE II		
HIDROELÉCTRICA EL LIBERTADOR	2.1610	Aqua
HIDROELÉCTRICA LAS VICTORIAS	1.0000	Aqua
HIDROELÉCTRICA CORALITO	1.9270	Aqua
HIDROELÉCTRICA EL ZAMBO	0.9800	Aqua
HIDROELÉCTRICA MONTE MARÍA	0.6910	Aqua
HIDROAGUNÁ	2.0550	Aqua
HIDROELÉCTRICA GENERADORA	0.9500	Aqua
ELÉCTRICA LA PAZ		
IXTALITO	1.6150	Aqua
HIDROELÉCTRICA GUAYACÁN	2.8750	Aqua
HIDROELÉCTRICA TUTO DOS	0.9600	Aqua
SANTA TERESA	1.9580	Aqua
HIDROELÉCTRICA EL PANAL	2.5000	Aqua
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PACAYAS	5.0000	Aqua
HIDROELÉCTRICA SAMUC	1.2000	Aqua
HIDROELÉCTRICA CONCEPCIÓN	0.1500	Aqua

Continuación de la tabla 1.

Plantas generadoras	Potencia efectiva (MW)	Combustible
HIDROELÉCTRICA SAN JOSÉ	0.4300	Agua
HIDROELÉCTRICA PEÑA FLOR LOS SITIOS	0.4990	Agua
HIDROELÉCTRICA SANTA ANITA	1.5600	Agua
HIDROELÉCTRICA CERRO VIVO	2.1130	Agua
HIDROELÉCTRICA MAXANAL	2.0640	Agua
HIDROELÉCTRICA LAS UVITAS	1.8390	Agua
HIDROELÉCTRICA EL CONACASTE	3.0000	Agua
HIDROELÉCTRICA EL BROTE	3.7000	Agua
HIDROELÉCTRICA MOPÁ	0.9750	Agua
HIDROELÉCTRICA LOS PATOS	4.8580	Agua
HIDROELÉCTRICA EL COROZO	0.9000	Agua
HIDROELÉCTRICA MIRAFLORES	0.8370	Agua
HIDROELÉCTRICA LA CEIBA	0.7000	Agua
HIDROELÉCTRICA CARMEN AMALIA	0.6860	Agua
XOLHUITZ	2.2600	Agua
PEQUEÑA HIDROELÉCTRICA SAMUC 2	1.6800	Agua
HIDROELÉCTRICA EL TRIÁNGULO	0.9600	Agua
PLANTA DE GENERACIÓN NUEVA HIDROCOI	1.0000	Agua
HIDROELÉCTRICA LA VIÑA	0.2900	Agua
EL SALTO MARINALÁ	4.9390	Agua
HIDROELÉCTRICA CUTZÁN	1.9500	Agua
PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHOLIVÁ	0.7000	Agua
HIDROELÉCTRICA HIDROXOCOBIL	1.4000	Agua
HIDROELÉCTRICA HIDROSAN I	2.0000	Agua
HIDROELÉCTRICA LA MEJANA	2.0000	Agua
HIDROSAN 2	1.5000	Agua
LOS ENCUENTROS PLANTA 1	1.2500	Aqua

Continuación de la tabla 1.

Plantas generadoras	Potencia efectiva (MW)	Combustible
SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD GUAYASAMÍN	1.8000	Agua
<b>Turbinas de vapor</b>	<b>528.3050</b>	
SAN JOSÉ	139.8700	Carbón
LA LIBERTAD	18.0270	Carbón
GENERADORA COSTA SUR	30.2310	Carbón
JAGUAR ENERGY	282.6160	Carbón/Petcoke
GENERADORA SAN ISIDRO	57.5610	Biomasa/Carbón
<b>Turbinas de gas</b>	<b>103.7320</b>	
TAMPA	69.6270	Diesel
ESCUINTLA GAS 5	34.1050	Diesel
<b>Turbinas de gas natural</b>	<b>2.5860</b>	
ARIZONA	158.6270	Bunker
ARIZONA VAPOR	1.9450	Bunker
PUERTO QUETZAL POWER	56.8584	Bunker
LAS PALMAS	20.8080	Bunker
GENOR	39.9020	Bunker
GENERADORA DEL ESTE	64.3850	Bunker
ELECTRO GENERACIÓN	14.4470	Bunker
TÉRMICA	14.0670	Bunker
TÉRMICA B-2	30.5320	Bunker
ELECTRO GENERACIÓN CRISTAL BUNKER	3.1580	Bunker
GENOSA	13.6851	Bunker
<b>Ingenios cogeneradores</b>	<b>575.5450</b>	
MAGDALENA BLOQUE 1	12.3290	Biomasa/Bunker
MAGDALENA BLOQUE 3	13.0260	Biomasa/Bunker
MAGDALENA BLOQUE 4	21.8940	Biomasa/Bunker
MAGDALENA BLOQUE 5	45.1090	Biomasa/Bunker
MAGDALENA BLOQUE 6	49.4810	Biomasa/Carbón
MAGDALENA BLOQUE 7	47.6370	Biomasa/Carbón

Continuación de la tabla 1.

<b>Plantas generadoras</b>	<b>Potencia efectiva</b> <b>(MW)</b>	<b>Combustible</b>
PANTALEÓN	24.8340	Biomasa/Bunker
PANTALEÓN BLOQUE 3	50.8550	Biomasa/Carbón
LA UNIÓN	51.7910	Biomasa/Bunker
SANTA ANA BLOQUE 1	21.3940	Biomasa/Bunker
SANTA ANA BLOQUE 2	45.4560	Biomasa/Carbón
MADRE TIERRA	30.4030	Biomasa/Carbón
GENERADORA SANTA LUCIA	6.2200	Biomasa/Carbón
TULULÁ	5.6670	Biomasa/Bunker
TULULÁ 4	10.1860	Biomasa/Bunker
TRINIDAD 3	12.6440	Biomasa/Bunker
TRINIDAD 4	36.2650	Biomasa/Carbón
TRINIDAD 5	45.2490	Biomasa/Carbón
EL PILAR 3	12.2020	Biomasa
PALO GORDO BLOQUE 2	32.9030	Biomasa/Carbón
GEOTÉRMICAS	<b>38.2140</b>	
ORZUNIL	17.9690	Geotérmica
ORTITLAN	20.2450	Geotérmica
<b>Generador distribuido renovable (TÉRMICO)</b>	<b>6.4800</b>	
GENERADORA DEL ATLÁNTICO VAPOR	0.3600	Biomasa
GENERADORA DEL ATLÁNTICO BIOMASA	0.5910	Biomasa
BIOGÁS VERTEDERO EL TREBOL	0.7840	Biomasa
GAS METANO GABIOSA	1.0560	Biomasa
BIOGÁS VERTEDERO EL TREBOL FASE II	2.6270	Biomasa
BIOMASA SANTA ANA	1.0620	Biomasa
<b>Solar fotovoltaica</b>	<b>80.0000</b>	
<b>Generador distribuido renovable</b>	<b>20.3000</b>	
<b>(FOTOVOLTAICA)</b>		
CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA SIBO	5.0000	Fotovoltaica
GRANJA SOLAR TAXISCO	1.5000	Fotovoltaica

Continuación de la tabla 1.

<b>Plantas generadoras</b>	<b>Potencia efectiva (MW)</b>	<b>Combustible</b>
GRANJA SOLAR EL JOBO	1.0000	Fotovoltaica
GRANJA SOLAR LA AVELLANA	1.0000	Fotovoltaica
GRAJA PEDRO DE ALVARADO	1.5000	Fotovoltaica
GRANJA SOLAR BUENA VISTA	1.5000	Fotovoltaica
GRANJA SOLAR XELA 1	0.5000	Fotovoltaica
GRANJA SOLAR LAS PILAS	3.5000	Fotovoltaica
PARQUE SOLAR DON JORGE	4.8000	Fotovoltaica
<b>Plantas eólicas</b>	<b>20.3000</b>	
SAN ANTONIO EL SITIO	52.8000	Eólica
VIENTO BLANCO	23.1000	Eólica
LAS CUMBRES	31.5000	Eólica

*Nota.* Composición del parque generador de electricidad guatemalteco. Elaboración propia, realizado con Word.

## 7.2. Costo operativo

El significado del costo operativo abarca múltiples perspectivas, lo que conlleva a una amplitud de conceptos. Sin embargo, en el contexto de esta tesis, la definición que mejor se alinea con el enfoque de estudio es aquella presentada por Lutín (2021), quien lo define como el costo de operar todo el parque generador de electricidad.

Dentro de este estudio, el costo operativo dentro del mercado mayorista englobará la agregación de los costos operativos individuales de cada una de las unidades generadoras convocadas para cubrir la demanda local y de exportación programada. En este sentido, el enfoque se centra en los costos

directamente asociados con la operación de las unidades generadoras involucradas en la satisfacción de la demanda total.

Es decir, el costo operativo estimado del parque generador de electricidad engloba todos los costos operativos de cada máquina convocada a generar por despacho económico (los cuales ya incluyen los sobrecostos por generación forzada), en conjunto a la adición de los cargos por servicios complementarios. A continuación, se describirán en que se componen los costos operativos de cada máquina generadora del parque eléctrico guatemalteco.

#### **7.2.1. Unidades térmicas**

Para el cálculo de estos costos operativos, se empleará la asistencia proporcionada por la Norma de Coordinación Comercial No. 5, elaborada por el Administrador del Mercado Mayorista (2013), en donde indica en el artículo No. 1 lo siguiente en relación con las unidades térmicas:

El costo operativo de una unidad generadora térmica será igual al Costo Variable de Generación multiplicado por el coeficiente representativo de la variación de eficiencia en función del nivel de carga asignado. Mientras que el costo operativo de las unidades generadoras comprometidas en los contratos a los que se refiere el artículo 40 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, será igual al precio de la energía del respectivo contrato declarado por la parte compradora. (p. 2)

### **7.2.2. Unidades hidroeléctricas**

El Administrador del Mercado Mayorista (2013) también precisa en esta norma el costo operativo de las unidades hidroeléctricas y detalla las excepciones que deben ser consideradas a la hora de determinarlo:

El costo operativo de una máquina hidráulica será igual al valor del agua, que será calculado por el Administrador del Mercado Mayorista, según lo establecido en la Norma de Coordinación Comercial Número 1. En caso de un embalse de regulación anual que se encuentre en situación de vertimiento, el costo operativo será igual al costo de operación y mantenimiento calculado para la central hidroeléctrica correspondiente. Para el resto de las centrales hidroeléctricas se considerará que su costo operativo es igual al costo de operación y mantenimiento calculado para la central hidroeléctrica correspondiente. (p. 2)

### **7.2.3. Unidades generadoras basadas en recursos renovables no hidráulicos**

La Norma de Coordinación Comercial No. 5, desarrollada por el Administrador del Mercado Mayorista (2013), establece los requisitos para determinar el costo operativo de unidades generadoras que utilizan recursos renovables no hidráulicos. Para lograr esto, es necesario tener en consideración lo descrito a continuación:

“Para las plantas de generación basadas en recursos renovables no hidráulicos se considerará que su costo operativo es el Costo Variable de Generación, que como mínimo será igual a su costo de operación y mantenimiento” (p. 2).

### **7.3. Precio de oportunidad de la energía**

Según lo establecido por el Administrador del Mercado Mayorista (2015), el precio de oportunidad de la energía se define como el costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora. En otras palabras, representa el costo en el que incurre el sistema eléctrico para proporcionar un kilovatio-hora (kWh) adicional de energía, teniendo en cuenta el nivel específico de demanda de potencia y considerando la disponibilidad real del parque de generación y transmisión.

El Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (1998) también lo define como el costo marginal de corto plazo en cada hora, pero también indica que el precio de oportunidad de la energía, comúnmente llamado *spot* o precio *spot*, es establecido por Administrador del Mercado Mayorista como resultado del despacho.

Es decir, el concepto de precio de oportunidad de la energía, desempeña un papel fundamental en el análisis del comportamiento del parque de generación eléctrico guatemalteco. Esta métrica proporciona una base esencial para la toma de decisiones estratégicas y la planificación energética, permitiendo a los agentes generadores y reguladores evaluar el costo real de la energía.

### **7.3.1. Costo marginal de corto plazo**

Siguiendo la línea de lo anteriormente descrito, el Administrador del Mercado Mayorista (2015) define el costo marginal de corto plazo como:

El máximo costo variable de las unidades generadoras, en el nodo de referencia, que fueron convocadas por el despacho económico y resultaron operando en función de su costo variable de acuerdo al resultado del despacho diario, respetando los requerimientos de servicios complementarios. (p. 2)

Es decir, el costo marginal de corto plazo se refiere al costo operativo más elevado de las máquinas generadoras que están convocadas a operar o sean requeridas por despacho económico según el resultado de la programación diaria o de los eventos que transcurren hora a hora de cada día.

Se puede decir con certeza que el costo marginal de la energía eléctrica se erige como un indicador crucial dentro del mercado eléctrico, permitiendo una observación detallada del equilibrio entre la oferta y la demanda de energía eléctrica en un período de tiempo a corto plazo.

### **7.3.2. Unidad generadora marginal**

El Administrador del Mercado Mayorista (2015) de igual manera define a la unidad generadora marginal como la unidad que define el precio de oportunidad de la energía. Es decir, es la unidad generadora que define el precio marginal de corto plazo y la unidad que tiene el máximo costo variable del resto de máquinas que están operando.

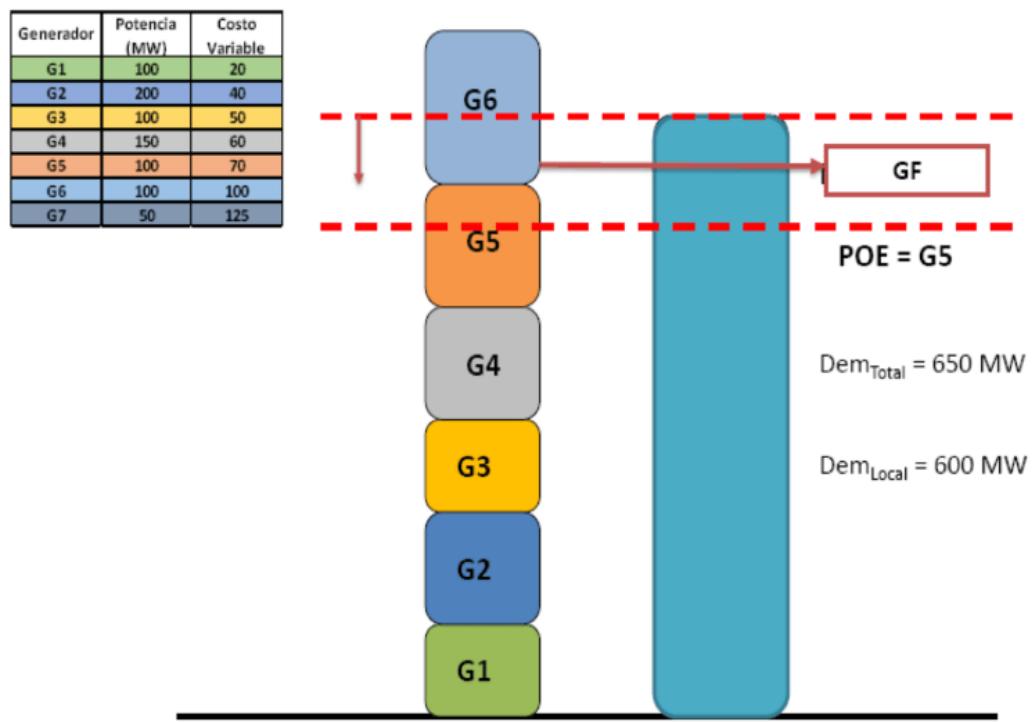
#### **7.4. Generación forzada**

Una unidad generadora forzada se reconoce como una unidad obligada a operar fuera del despacho económico por causa de restricciones técnicas, operativas, de calidad o de confiabilidad, del parque de generación o de la red de transporte, así como por cláusulas de compra mínima de energía de los contratos existentes. La energía producida por esta unidad generadora se denomina Generación Forzada. (Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, 1998, p. 6)

En otras palabras, se trata de toda la generación que no se encuentra programada en función de criterios económicos, sino que se utiliza para satisfacer necesidades relacionadas con la seguridad energética, la calidad del servicio, el cumplimiento de la demanda de exportación y otras consideraciones adicionales.

En la figura 1 se ejemplifica de una manera más sencilla de entender cómo funciona el despacho económico del mercado mayorista en Guatemala, en donde se observa que el POE es el costo variable de la última unidad generadora que suple la demanda local, mientras que el resto de generación que no es necesaria por despacho económico es denominada generación forzada (GF).

**Figura 1.**  
*Generación forzada*



Nota. Gráfico de generación forzada. Administrador del Mercado Mayorista (2020). *Despacho económico del Mercado Mayorista en Guatemala*. (<https://rd.amm.org.gt/2020/09/16/funcionamiento-mercado-electrico/>) consultado el 09 de septiembre de 2023. De dominio público.

#### 7.4.1. Origen de la generación forzada

El Administrador del Mercado Mayorista (2013) señala que el forzamiento de las unidades generadoras puede ser por alguna de las siguientes razones que se describen a continuación:

- La Generación por requerimiento del AMM para garantizar el suministro del SNI que se derive de las restricciones establecidas en el artículo 1 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.
- Para alcanzar los criterios definidos en la Norma de Coordinación Operativa No. 4, y los criterios de calidad, seguridad y desempeño.
- Restricciones de arranque y parada, o régimen de transición asociadas al despacho económico.
- Para dar cumplimiento a las estipulaciones de los contratos a que se refiere el artículo 40 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.
- Por requerimiento propio de los participantes y que sean aceptados por el AMM.
- Generación requerida para mantener la reserva rodante operativa y la reserva rápida.
- Por requerimientos de seguridad adicional necesaria ante la ocurrencia de eventos especiales a requerimiento del Ministerio de Energía y Minas.
- Por ofertas de importación que fueron confirmadas en el predespacho y que resultaron fuera del despacho económico del Mercado Mayorista durante la operación en tiempo real.

- Por exportación e importación de oportunidad en tanto los intercambios no reflejen condiciones económicas equivalentes a las del Mercado Mayorista.
- Por importaciones de energía de emergencia o por déficit Nacional, requeridas por el AMM para garantizar el abastecimiento de energía eléctrica en el Mercado Mayorista.

Las restricciones técnicas, operativas, de calidad o confiabilidad dan paso a la existencia de una generación forzada, que al ser de costo mayor que el POE, aumentan en proporción el costo operativo del parque de generación de electricidad guatemalteco.

**Tabla 2.**

*Acrónimos y artículos del origen de la generación forzada*

Acrónimo	Origen de la generación forzada	No. de Artículo
REAM	Requerimiento del Administrador del Mercado Mayorista	NCC-5 (5.3.1)
RSPT	Restricciones sistema principal	NCC-5 (5.3.2)
RSST	Restricciones sistema secundario	NCC-5 (5.3.2)
-	Falta de potencia reactiva o inadecuado nivel de tensión	NCC-5 (5.3.3)
AYP	Restricciones de arranque y parada	NCC-5 (5.3.4)
CC	Compromisos contractuales	NCC-5 (5.3.5)
REPRO	Requerimiento propio	NCC-5 (5.3.6)
RRA	Reserva rápida	NCC-5 (5.3.7)
RRO	Reserva rodante operativa	NCC-5 (5.3.7)
RSAE	Requerimientos de seguridad adicional por evento especial	NCC-5 (5.3.8)
IOI	Inflexibilidad de la oferta de importación	NCC-5 (5.3.9)

Continuación de la tabla 2.

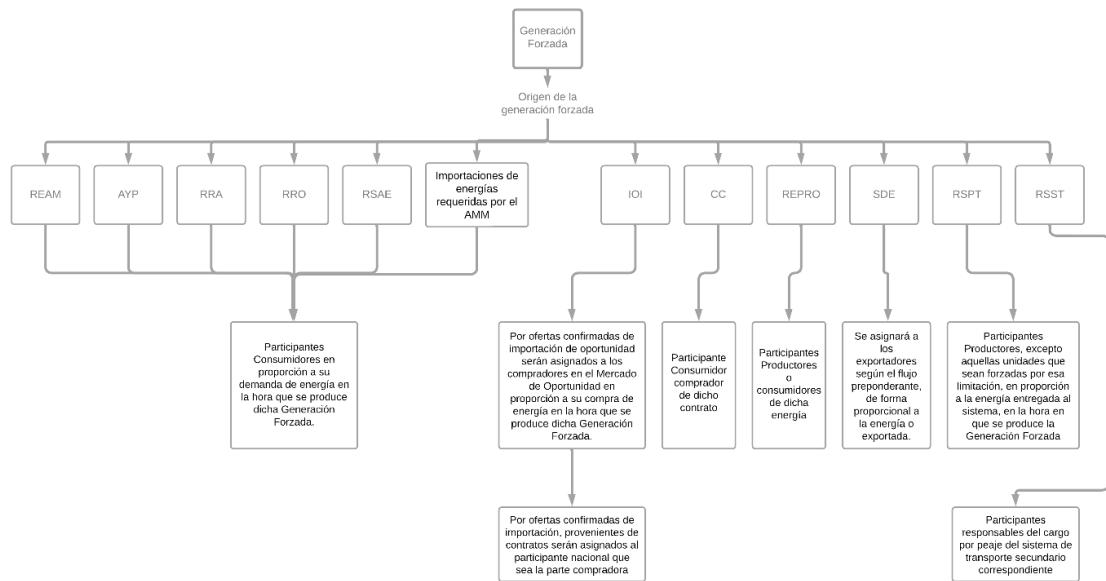
Acrónimo	Origen de la generación forzada	No. de Artículo
SDE	Exportación de energía	NCC-5 (5.3.10)
-	Importaciones de energías requeridas por el AMM	NCC-5 (5.3.11)

*Nota.* Descripción de los orígenes de la generación forzada. Elaboración propia, realizado con Word.

#### **7.4.2. Pago de sobrecostos por generación forzada**

El pago de los sobrecostos por generación forzada se asigna según el origen de esta, y son pagados por los agentes o participantes, según el Administrador del Mercado Mayorista (2013), con base a lo que establece el artículo 48 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista que se describirá a continuación de una manera detallada en la figura 2 con apoyo de las descripciones realizadas en la tabla 2.

**Figura 2.**  
*Asignación de cargos por generación forzada*



Nota. Asignación de cargos por generación forzada. Elaboración propia, realizado con Lucidchart.

## 7.5. Cargos por servicios complementarios

En el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (1998) se define a los servicios complementarios como “los servicios requeridos para el funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado, con el nivel de calidad y el margen de confiabilidad, de acuerdo a lo establecido en las Normas Técnicas y en las de Coordinación” (p. 5).

En esta categoría de servicios complementarios, se engloban una serie de funciones críticas que abarcan desde la provisión de reservas operativas hasta la regulación de frecuencia, el control de potencia reactiva y de tensión,

así como el arranque en negro. Estos aspectos son vitales para garantizar la estabilidad y la fiabilidad del suministro eléctrico. Entonces, se puede definir a los cargos por servicios complementarios como a los costos en los que incurre el parque generador de electricidad guatemalteco para tener el funcionamiento acorde a lo establecido en las normas técnicas y comerciales establecidas por el AMM.

Sin embargo, es relevante señalar que los costos vinculados a la prestación de estos servicios no recaen exclusivamente en los usuarios de la demanda programada. En muchos casos, los agentes que hacen uso directo de estos servicios son los responsables de sufragar los gastos asociados, lo que establece una relación directa entre la utilización y la asunción de responsabilidad financiera. En última instancia, esta configuración de servicios complementarios no solo es instrumental para el funcionamiento fluido del sistema eléctrico, sino que también desencadena un modelo financiero en el que los agentes que aprovechan estos servicios específicos contribuyen directamente a los costos que conllevan, enriqueciendo así la eficiencia y sostenibilidad del sistema energético en su conjunto.

#### **7.5.1. Reserva rápida**

El servicio de reservas rápidas (RRa) es un servicio de carácter opcional que pueden brindar las unidades generadoras del parque generador de Guatemala y tiene como objetivo el contar con capacidad de potencia para cubrir desbalances entre la generación y la demanda provocados por contingencias, fallas u otro tipo de imprevistos importantes. (Administrador del Mercado Mayorista, 2021, p. 25).

El servicio complementario de RRa es liquidado por el Administrador del Mercado Mayorista en el informe de transacciones económicas (ITE) y los cargos son asignados a los participantes consumidores proporcionalmente a su demanda registrada de energía en el día. En la siguiente tabla se ejemplifica cómo líquida el AMM el servicio de reserva rápida.

**Tabla 3.**

*Liquidación de reserva rápida*

No.	Participantes / ofertas	Potencia promedio asignada (MW)	Remuneración (US\$)
1	TDL-B8	6.320	50,775.92
2	ARI-O5	15.560	138,488.47
3	ELG-B2	6.200	49,085.28
4	TDL-B9	5.990	48,146.02
5	TDL-B7	4.200	33,724.60
6	ARI-O9	15.340	136,554.38
7	TAM-G2	25.600	220,277.20
8	LPA-B4	13.490	120,050.00
9	TDL-B12	7.630	61,371.25
10	ELG-B1	6.950	61,829.40
11	ARI-O7	12.380	102,726.56
12	TAM-G1	28.800	256,358.66
13	LPA-B5	5.040	40,548.60
14	TDL-B6	4.100	32,950.75
Totales			1,352,887,09

Nota. Liquidación de reserva rápida del mes de julio 2023. Obtenido del Administrador del Mercado Mayorista (2023). *ITE-07-2023* (<https://www.jmcprl.net/NORMATIVA%20COMPLEMENTARIA/24-Rite/ITE-07.htm>), consultado el 10 de septiembre de 2023. De dominio público.

### 7.5.2. Reserva rodante operativa

La reserva rodante operativa (RRO) se define como:

La fracción de la capacidad es una unidad generadora que está sincronizada al sistema de potencia pero que no está asignada a la producción de energía con el fin de que esta unidad reguladora participe en la regulación secundaria y esté disponible para otros requerimientos operativos. (Administrador del Mercado Mayorista, 2021, p. 2)

De igual manera este servicio complementario es liquidado mensualmente por el Administrador del Mercado Mayorista y los cargos son asignados a los participantes consumidores en proporción de su consumo de energía en cada hora. En la siguiente tabla se ejemplifica cómo líquida el AMM el servicio de reserva rodante operativo.

**Tabla 4.**

*Liquidación de reserva rodante operativa*

No.	Unidades asignadas	EER (KWh)	Remuneración (US\$)
1	AGUACAPA	0	-
2	ARIZONA	11,303	440,043.41
3	EL CANADÁ	5,275	293,840.81
4	CHIXOY	4,517	281,322.65
5	JURUN MARINALA	1,127	64,720.18
6	LAS PALMAS	0	-
7	LAS VACAS	324	29,971.30
8	EL MANANTIAL	104	6,523.73

Continuación de la tabla 4.

No.	Unidades asignadas	EER (KWh)	Remuneración (US\$)
9	OXEC II	4,544	261,518.45
10	OXEC	1,122	62,294.06
11	PVI	8,875	497,376.54
12	RENACE	6,578	391,892.85
13	SECACAO	3,587	205,779.31
14	XACBAL	4,724	276,458.26
15	XACBAL DELTA	3,603	211,314.81
16	AGUACAPA	0	-
<b>Totales</b>		<b>55,684</b>	3,023,056.35

*Nota.* Liquidación de reserva rodante operativa del mes de julio 2023. Obtenido del Administrador del Mercado Mayorista (2023). *ITE-07-2023* (<https://www.jmcprl.net/NORMATIVA%20COMPLEMENTARIA/24-Rite/ITE-07.htm>), consultado el 10 de septiembre de 2023. De dominio público.

## 7.6. El Niño oscilación del sur (ENOS)

Para entender el impacto de estos fenómenos, es importante conocer en qué consiste el fenómeno El Niño oscilación del sur (ENOS), este tiene dos etapas, la etapa seca denominada El Niño y la etapa húmeda denominada La Niña.

### 7.6.1. Fenómenos El Niño

El fenómeno del El Niño según la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (2023) es la condición climática que presenta una fase cálida del océano Pacífico y una fase negativa en la atmósfera. Es decir, cuando se presenta un calentamiento anormal de las aguas ecuatoriales del océano Pacífico Tropical y hay un enfriamiento anómalo en el pacífico ecuatorial este.

Los efectos de este fenómeno meteorológico en Guatemala según la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (2023) son las canículas severas, temperaturas altas previa a la temporada de lluvias, déficit de lluvia en las vertientes del caribe y pacífico y la irregularidad en el establecimiento, distribución y terminación de la temporada de lluvias.

#### **7.6.2. Fenómeno La Niña**

El fenómeno de La Niña es el término popular con el cual se le conoce a la fase fría del ENOS. Las características de este evento nos las describe de igual manera la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (2023) las cuales son una fase fría del océano Pacífico y una fase positiva en la atmósfera. Es decir, que, al contrario de El Niño, existe un enfriamiento anormal de las aguas ecuatoriales del océano Pacífico Tropical en conjunto a altas presiones en las latitudes medias que relegan las tormentas a regiones muy al norte y cambian la circulación atmosférica.

Como se describió anteriormente, el fenómeno La Niña es un evento “con condiciones contrarias al de El Niño, por lo cual los efectos que este ocasiona son de igual manera contrarios a los de El Niño, estos efectos son un aumento excesivo de lluvias y la aparición de eventos hidrometeorológicos extremos” (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, 2023, p. 10).

#### **7.6.3. Años de efecto**

Estos fenómenos meteorológicos son inherentemente cambiantes en el transcurso del tiempo, pero de acuerdo con información brindada por National Oceanic and Atmospheric Administration (2023), la confirmación de la ocurrencia de uno de estos eventos se establece mediante una condición específica se

fbrequiere una variación de +/- 0.5 °C en relación al índice oceánico del Niño (ONI) durante cinco intervalos consecutivos. Cada intervalo abarca la media de los últimos tres meses transcurridos en tiempo real. En la tabla 5 se visualizan de manera detallada los parámetros descritos anteriormente.

**Tabla 5.**

*Índice oceánico del Niño (ONI)*

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SIN	OND
2019	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>
2021	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>
2022	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.9</b>	-1.0	<b>-1.0</b>	<b>-0.9</b>
2023	<b>-0.7</b>	-0.4	-0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>			

*Nota.* Histórico del índice Oceánico del Niño (ONI) en los años 2019 al 2023. Obtenido del National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). *Cold & Warm Episodes by Season* ([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)), consultado el 07 de septiembre de 2023. De dominio público.

Esta información nos permite concluir que, al momento de elaborar este estudio, el año más reciente en el que se experimentó el fenómeno de La Niña fue el 2022, mientras que el año más cercano afectado por el fenómeno de El Niño se confirma como el 2023. Como resultado, en el análisis de los años considerados en esta tesis, utilizaremos el año 2022 para examinar condiciones de La Niña en el parque generador de electricidad de Guatemala y el año 2023 para analizar el impacto del fenómeno El Niño en el mismo.

## 8. MARCO CONCEPTUAL

### 8.1. Mercado Eléctrico de Guatemala

La oficialización de la Ley General de Electricidad por parte del Congreso de la República de Guatemala marcó un hito importante en la regulación y organización del sector eléctrico en el país. Uno de los elementos clave establecidos en esta ley fue la definición del Mercado Mayorista de Electricidad. Esta definición estableció las bases para un sistema estructurado de compra y venta de potencia y energía eléctrica entre los diferentes actores que conforman el sector energético. Cuando el Congreso de la República de Guatemala oficializó la Ley General de Electricidad (1996) como: “el conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y a largo plazo entre agentes del mercado” (p. 5).

En el contexto de la definición proporcionada por la ley, bloques de potencia y energía se refiere a cantidades específicas de electricidad que se comercializan entre los participantes del mercado, y su intercambio tiene un impacto directo en la estabilidad del suministro eléctrico y en la gestión eficiente de la demanda y la oferta. La inclusión de operaciones a corto y largo plazo es significativa ya que refleja la complejidad inherente al funcionamiento del mercado eléctrico. Las operaciones a corto plazo generalmente se refieren a la comercialización de energía para satisfacer la demanda inmediata, lo que permite a los actores del mercado adaptarse a cambios imprevistos en la demanda y en la generación. Por otro lado, las operaciones a largo plazo implican acuerdos a de término extendido garantizando la seguridad y confiabilidad del suministro de energía a lo largo del tiempo.

El Ministerio de Energía y Minas (2017), la institución rectora del sector eléctrico y minero nos da otra perspectiva del mercado eléctrico guatemalteco ya que lo define como: “un mercado en donde se realizan transacciones comerciales (compra y venta de potencia y energía eléctrica) del subsector eléctrico” (p. 3).

## **8.2. Administrador del Mercado Mayorista**

Dentro del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, una herramienta regulatoria emanada por el Ministerio de Energía y Minas, se brinda una perspectiva detallada acerca de la función y responsabilidad inherente al Administrador del Mercado Mayorista. De acuerdo con el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (1998), en el reglamento se establece de manera precisa que el Administrador del Mercado Mayorista es el ente encargado de la administración y coordinación del Mercado Mayorista.

Asimismo, en el Artículo 8 del mismo reglamento, se expande aún más sobre la esencia del Administrador del Mercado Mayorista. Aquí, el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (1998) afirma que este ente es el que realizará las funciones que le asigna la Ley General de Electricidad, su Reglamento y el presente reglamento. Esta definición adicional ratifica la trascendencia de la figura del Administrador del Mercado Mayorista en la implementación y supervisión de actividades críticas para el adecuado funcionamiento del mercado energético.

Las definiciones brindadas por el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista dan una idea sobre la trascendencia del Administrador en el contexto del mercado eléctrico. En su esfera de responsabilidad se encuentran enmarcadas tanto la gestión íntegra como la coordinación de operaciones,

siempre en plena alineación con las directrices delineadas por la legislación actual que rige el ámbito eléctrico. Esta constatación refuerza su papel protagónico como una pieza esencial para garantizar un mercado eléctrico de alta eficiencia y confiabilidad, en beneficio de todos los participantes involucrados en este dinámico escenario.

### **8.3. Costo variable de generación**

Es imperativo comprender a fondo el costo variable de generación (CVG) debido a su constante relevancia en las discusiones sobre el costo operativo del parque generador de electricidad guatemalteco, lo cual constituye un enfoque central de esta tesis. Su relevancia es fundamental, ya que como se ha descrito anteriormente, es uno de los indicadores económicos más importantes a la hora de hablar de costos marginales.

El Administrador del Mercado Mayorista (2020) define al costo variable de generación como:

El costo variable calculado por ellos mismos con base a la metodología de costos variables de generación declarada por el generador en la Programación de Largo Plazo, este incluye el costo de combustibles, el costo asociado a los consumos propios de las máquinas, el costo de los insumos variables distintos de los combustibles y cualquier otro costo variable requerido y declarado en la metodología de costos variables de generación. (p. 46)

El costo variable de generación desempeña una función de suma importancia en el proceso de llevar a cabo el despacho económico tanto a nivel diario como semanal. Su papel es esencial en la toma de decisiones relacionadas con la asignación eficiente de los recursos y la optimización del costo operativo y marginal del parque generador de electricidad guatemalteco.

## 9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Parque generador de electricidad

2.1.1. Composición del parque generador de electricidad  
guatemalteco

2.2. Costo operativo

2.2.1. Unidades térmicas

2.2.2. Unidades hidroeléctricas

2.2.3. Unidades generadoras basadas en recursos  
renovables no hidráulicos

2.3. Precio de oportunidad de la energía

2.3.1. Costo marginal de corto plazo

2.3.2. Unidad generadora marginal

2.4. Generación forzada

- 2.4.1. Origen de la generación forzada
- 2.4.2. Pago de sobrecostos por generación forzada
- 2.5. Cargos por servicios complementarios
  - 2.5.1. Reserva rápida
  - 2.5.2. Reserva rodante operativa
- 2.6. El Niño oscilación del sur (ENOS)
  - 2.6.1. Fenómeno El Niño
  - 2.6.2. Fenómeno La Niña
  - 2.6.3. Años de efecto

### 3. MARCO CONCEPTUAL

- 3.1. Mercado Eléctrico de Guatemala
- 3.2. Administrador del Mercado Mayorista
- 3.3. Costo variable de generación

### 4. METODOLOGÍA

- 4.1. Características del estudio
  - 4.1.1. Enfoque
  - 4.1.2. Diseño
  - 4.1.3. Alcance
  - 4.1.4. Unidad de análisis
- 4.2. Variables
- 4.3. Fases del desarrollo de la investigación
  - 4.3.1. Fase 1: consultas bibliográficas
  - 4.3.2. Fase 2: recolección de datos
  - 4.3.3. Fase 3: cálculo de costos operativos horarios y mensuales de cada máquina que compone el parque generador de electricidad guatemalteco

- 4.3.4. Fase 4: identificación de las causas y los costos de la generación forzada en conjunto con los cargos por servicios complementarios
- 4.3.5. Fase 5: estimación del costo operativo total del parque generador de electricidad de Guatemala en los años de estudio
- 4.3.6. Fase 6: elaboración de gráficas para análisis e identificación de las causas principales de las diferencias del costo operativo estimado del año 2022 y 2023

4.4. Resultados esperados

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. Diferencias entre los costos operativos de los años de estudio.
- 5.2. Tecnologías generadoras
- 5.3. Comportamiento del Precio de Oportunidad de la Energía
- 5.4. Evaluación de los sobrecostos por generación forzada y los cargos por servicios complementarios de RRO y RRa en el costo operativo estimado total del parque generador de electricidad guatemalteco

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 6.1. ¿Cómo impacta el fenómeno meteorológico El Niño y La Niña en el costo operativo estimado del parque generador de Guatemala?
- 6.2. ¿Cómo se comporta el precio de oportunidad de la energía durante los años de estudio?

6.3. ¿Cuál es el causante con mayor fluencia en la diferencia entre los costos operativos estimados calculados del parque generador de electricidad de Guatemala?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Características del estudio**

A continuación, se presentan las características del trabajo de investigación.

#### **10.1.1. Enfoque**

El enfoque de la investigación propuesta se inicia con la selección del método de investigación, el cual será el de medición, que será de naturaleza cuantitativa. Esta elección se fundamenta en la posibilidad de cuantificar tanto la información recopilada durante el desarrollo de la investigación como los resultados que se obtendrán. Por lo tanto, estos datos podrán ser medidos, contabilizados y sometidos a un análisis numérico.

#### **10.1.2. Diseño**

En lo que respecta al diseño del estudio, se optará por uno no experimental. Esto se debe a que se analizarán datos que ya han tenido lugar, y el enfoque se centrará en investigar las consecuencias de los eventos climatológicos en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco. El tipo de estudio se restringirá a variables cuantitativas continuas. Los datos empleados en la investigación, así como los métodos de análisis y los resultados obtenidos, serán todos de esta naturaleza. En otras palabras, estos valores podrán abarcar cualquier intervalo o nivel de medición. El paradigma que guiará este trabajo será el positivista, ya que la

intención es explicar el impacto de los fenómenos meteorológicos "El Niño" y "La Niña" en el costo operativo estimado del parque generador de electricidad guatemalteco mediante resultados cuantitativos.

#### **10.1.3. Alcance**

En cuanto al alcance, la investigación adoptará un enfoque descriptivo. Dado que las características del fenómeno son ya conocidas, el objetivo será exponer los resultados derivados del análisis de datos necesario. En este sentido, no se formularán hipótesis en el proceso.

#### **10.1.4. Unidades de análisis**

Se focalizará en el análisis de la entidad bajo estudio, que es el parque generador de electricidad de Guatemala. Se seleccionarán muestras con intencionalidad, examinándolas en su totalidad para el análisis.

### **10.2. Variables**

A continuación, se describen las variables que serán objeto de estudio.

**Tabla 6.***Definición teórica y operativa de las variables*

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Costo operativo [US\$/tiempo]	Costos incurridos en la operación de cada una de las unidades generadoras convocadas para satisfacer la demanda nacional.	Se obtendrá por medio de la suma del producto obtenido al multiplicar la generación horaria de cada central convocada para suplir la demanda local y de exportación por despacho económico, por su costo variable, más los sobrecostos por generación forzada y los cargos de servicios complementarios
Costo marginal [US\$/MWh]	Máximo costo variable de las unidades generadoras, en el Nodo de Referencia, que fueron convocadas por el Despacho Económico y resultaron operando en función de su costo variable.	Se obtendrá por medio de cálculos propios basados en la información brindada en los informes mensuales del AMM.
Sobrecostos por generación forzada [US\$/MWh]	Es definido como el Precio de Oportunidad de la Energía más la diferencia o sobrecosto que exista, con respecto a su declaración de costo variable en el Nodo de Referencia.	Se obtendrá por medio de cálculos propios con base a la NCC-05.

Continuación de la tabla 6.

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Cargos por servicios complementarios [US\$/MWh]	Cargos asociados a los servicios requeridos para el funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado, con el nivel de calidad y el margen de confiabilidad.	Se obtendrá por medio de cálculos propios basados en la información brindada en los informes mensuales del AMM.

Nota. Definición teórica y operativa de las variables del diseño de investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 7.**

*Clasificación de variables*

Variable	Propiedad	Uso	Nivel de medición
Costo operativo [US\$/tiempo]	Numérica continua	Dependiente	Razón
Costo MARGINAL [US\$/MWh]	Numérica continua	Dependiente	Razón
Sobrecostos por generación forzada [US\$/MWh]	Numérica continua	Dependiente	Razón
Cargos por SERVICIOS Complementarios [US\$/MWh]	Numérica continua	Dependiente	Razón

Nota. Clasificación de variables según su propiedad, uso y nivel de medición. Elaboración propia, realizado con Word.

### **10.3. Fases del estudio**

Se describen a continuación las fases en las que se realizará el análisis del costo operativo del parque generador de electricidad.

#### **10.3.1. Fase 1: consultas bibliográficas**

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, para enriquecer los conocimientos sobre los efectos del fenómeno El Niño oscilación del sur (ENOS) en el costo operativo de los parques generadores de electricidad y las variables que afectan estos costos.

#### **10.3.2. Fase 2: recolección de datos**

En la segunda fase se recolectará toda la información que se utilizará para determinar el costo operativo del parque eléctrico de generación para los años 2022 y 2023. Se almacenarán los históricos de los costos variables de generación de cada unidad, en conjunto con la carga horaria de estas unidades en una base de datos elaborada en Microsoft Excel. En esta misma base de datos se recopilará los sobrecostos por generación forzada incurridos mes a mes en conjunto de los cargos por servicios complementarios y los costos marginales horarios. Esta información será obtenida de los informes diarios y mensuales que brinda el AMM.

La base de datos que se propone para recopilar la información se detalla a continuación, la cual será elaborada en Microsoft Excel.

**Tabla 8.***Base de datos propuesta*

<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Costo parcial</b>	<b>Operativo</b>	<b>Generación forzada</b>	<b>Servicios complementarios</b>
Enero	2022	US\$		US\$	US\$
...	...	US\$		US\$	US\$
Diciembre	2023	US\$		US\$	US\$

*Nota.* Base de datos propuesta para la recopilación de información. Elaboración propia, realizado con Word.

**10.3.3. Fase 3: cálculo de costos operativos horarios y mensuales de cada máquina que compone el parque generador de electricidad guatemalteco**

En la tercera fase, se llevará a cabo la determinación del costo parcial operativo estimado del parque generador de electricidad. En este proceso, se considerarán los gastos incurridos para suplir la demanda local y la demanda de exportación. El cálculo de este costo se llevará a cabo en Microsoft Excel, mediante la suma de los productos obtenidos al multiplicar los costos variables de cada unidad generadora por su correspondiente curva de carga horaria. El cálculo costo operativo se irá desglosando de forma mensual para posteriormente realizar un análisis detallado de los efectos del fenómeno ENOS.

**10.3.4. Fase 4: identificación de las causas y los costos de la generación forzada en conjunto con los cargos por servicios complementarios**

En la cuarta fase se procederá a calcular los sobrecostos derivados de la generación forzada en conjunto de los cargos asociados a los servicios

complementarios. Utilizando Microsoft Excel, se identificarán las causas de las generación forzada y se determinará el costo de cada una de las causas. Paralelamente, se estarán hallando los cargos asociados a los servicios de RRO y RRa mensuales, toda esta información se estará recopilando y almacenando en la base de datos creada en Microsoft Excel.

**10.3.5. Fase 5: estimación del costo operativo total del parque generador de electricidad de Guatemala en los años de estudio**

En la quinta fase se llevará a cabo la determinación de los costos operativos totales estimados del parque generador de electricidad. Se hará el cálculo individual para cada mes, en donde se sumará el total de los costos operativos de las máquinas generadoras que operaron durante el mes, más los cargos por servicios de RRO y RRa y a esta suma se le restará los sobrecostos de generación forzada debido a requerimiento propio de un agente. Ya obtenida la información desglosada por mes, se sumarán todos los meses para encontrar los efectos del fenómeno ENOS en el costo operativo estimado del parque generador eléctrico de Guatemala.

**10.3.6. Fase 6: elaboración de gráficas para análisis e identificación de las causas principales de las diferencias del costo operativo estimado del año 2022 y 2023.**

Con la información recopilada y los cálculos obtenidos se procederá a realizar gráficas que nos permitan analizar el impacto del fenómeno ENOS en el costo operativo estimado del parque generador guatemalteco. De igual manera

se graficará el comportamiento del POE durante los años de estudio para poder analizar su comportamiento ante El Niño y La Niña.

Por último, se graficarán las causas y los cargos por generación forzada y los cargos por servicios de RRO y RRa durante cada mes y se analizará qué impacto tuvo cada uno de estos dentro del costo operativo estimado total del parque generador de electricidad guatemalteco.

#### **10.4. Resultados esperados**

Tomando en consideración las interrogantes de la investigación, los objetivos establecidos y las diversas fases del estudio propuesto, se prevé obtener los siguientes resultados con relación a las distintas variables sujetas a análisis:

- Un aumento significativo en el costo operativo del parque generador de electricidad para suplir la demanda total en el año afectado por el fenómeno de El Niño.
- Mayores sobrecostos asociados a generación forzada debido a las restricciones de arranque y parada de las máquinas térmicas en el año seco.
- Menor costo marginal para un año afectado por el fenómeno La Niña.
- Los meses con mayor diferencia en el costo marginal serán aquellos de la no zafra, es decir de mayo a noviembre.

- Mayor volumen de exportaciones para el año afectado por el fenómeno La Niña.



## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizarán diversas técnicas de análisis como instrumentos para la recopilación de datos, con el propósito de enriquecer la investigación con información inmediata. Estas técnicas desempeñarán un papel fundamental en la obtención de respuestas a las preguntas planteadas y en la consecución de los objetivos delineados en el estudio.

### 11.1. Censo

Un censo es un proceso de recopilación de datos que implica la recolección de información detallada y exhaustiva sobre cada elemento o individuo en una población específica. El propósito principal de un censo es obtener una imagen completa y precisa de la población en estudio, sin seleccionar una muestra representativa como se haría en otros métodos de muestreo.

En el contexto de esta investigación sobre el efecto de los fenómenos El Niño y La Niña en el costo operativo del parque generador de electricidad de Guatemala, se propone el uso de un censo como método de recopilación de datos. Esta elección metodológica se fundamenta en varias razones fundamentales que respaldan su idoneidad para el estudio en cuestión.

En primer lugar, la utilización de un censo permitiría obtener una representación completa de todas las plantas generadoras de electricidad que conforman el parque generador de electricidad guatemalteco. Dado que el objetivo principal de esta investigación es evaluar el impacto de los fenómenos

climáticos mencionados en el parque generador de electricidad, la realización de un censo asegurará que se incluyan en el análisis todos los elementos de la población de interés, evitando posibles sesgos que podrían surgir de la selección de una muestra. Los datos recopilados de cada planta en un censo se consideran más confiables y exactos en comparación con los datos de una muestra, lo que fortalecerá la validez de los resultados.

La realización de un censo proporcionará la oportunidad de obtener información detallada sobre cada planta generadora, lo que enriquecería el análisis. Esta información detallada podría incluir variables como el tipo de combustible utilizado, la capacidad de generación y otros factores relevantes que permitirían una investigación más profunda.

## **11.2. Análisis descriptivo**

El análisis descriptivo será una herramienta fundamental en esta investigación, cuyo objetivo primordial consiste en evaluar el impacto de los fenómenos climáticos El Niño y La Niña en el costo de operación total estimado del parque generador de electricidad en Guatemala. La aplicación de este análisis en las etapas iniciales de la investigación se justifica por diversas razones de importancia crítica.

En primer lugar, el análisis descriptivo se perfila como un punto de partida esencial para comprender la naturaleza de los datos recopilados. Su utilidad radica en la capacidad de resumir de manera efectiva los datos en estadísticas fundamentales, tales como la media. Esto proporcionaría una visión inicial de los valores centrales de los costos operativos en los años de El Niño y La Niña. Tales resúmenes numéricos serían esenciales para establecer una base sólida sobre

la cual se puedan desarrollar análisis más avanzados. La ecuación para hallar la media aritmética se describe a continuación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\bar{x}$ : media aritmética

$n$ : suma de valores de la variable en estudio

$x_i$ : i-ésima variable en estudio.

Además de las medidas estadísticas, el análisis descriptivo comprende la representación visual de los datos a través de gráficos y visualizaciones. Una vez obtenidos los resultados, se recurrirá al uso de apoyos visuales para una mejor comprensión y análisis de los hallazgos. Con este propósito, se emplearán gráficos de barras, los cuales serán utilizados para identificar las causas principales de las variaciones en los costos de operación del parque generador en cada año del estudio. Esta representación gráfica facilitará la visualización y comparación de los factores que contribuyen a las diferencias observadas. Además, se hará uso de gráficos de líneas como herramienta para analizar el comportamiento del precio spot de la energía durante los años afectados por los fenómenos climáticos El Niño y La Niña.



## 12. CRONOGRAMA

**Tabla 9.**

*Cronograma de actividades*

Cronograma						
Nombre	Asignado a	Inicio	Finalización	% completa...	jul. 10	
1 Aprobación de protocolo		23/7/2023	30/9/2023	0		ago. 21
2 <b>Objetivo general</b>		30/9/2023	16/12/2023	0		oct. 2
3 Revisión bibliográfica		30/9/2023	7/10/2023	0		nov. 13
4 <b>Objetivo específico 1</b>		7/10/2023	11/11/2023	0		dic. 25
5 Recopilación de datos		7/10/2023	21/10/2023	0		
6 Creación de base de datos		21/10/2023	28/10/2023	0		
7 Cálculos correspondientes		28/10/2023	11/11/2023	0		
8 <b>Objetivo específico 2</b>		11/11/2023	2/12/2023	0		
9 Recopilación de información		11/11/2023	18/11/2023	0		
10 Cálculos correspondientes		18/11/2023	2/12/2023	0		
11 <b>Objetivo específico 3</b>		2/12/2023	16/12/2023	0		
12 Recopilación de información		2/12/2023	9/12/2023	0		
13 Cálculos correspondientes		9/12/2023	16/12/2023	0		
14 Análisis de los resultados obtenidos		17/12/2023	24/12/2023	0		
15 Revisión preliminar por parte del asesor		23/12/2023	31/12/2023	0		
16 Elaboración de conclusiones, recomendaciones, bibliografía e infografía		1/1/2024	8/1/2024	0		
17 Reuniones de forma y cumplimiento de Normas APA		8/1/2024	15/1/2024	0		
18 Reuniones y revisiones finales con el asesor		15/1/2024	22/1/2024	0		

*Nota.* Descripción del cronograma de actividades. Elaboración propia, realizado con Project.



## 13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se considera que el estudio es factible desde una perspectiva económica. El autor de esta tesis cuenta con recursos proporcionados por la empresa en donde labora, que serán utilizados en el desarrollo de la investigación. Estos recursos incluyen una computadora portátil con un ratón inalámbrico, licencias de Office 365 y Microsoft Power BI, así como la infraestructura para realizar el trabajo.

Además, es importante tener en cuenta que el investigador incurrirá en varios gastos durante el proceso de elaboración de la tesis. Estos incluyen el costo de herramientas en línea utilizadas para la investigación, la remuneración económica para el asesor de la investigación, así como gastos operativos como combustible, electricidad, impresiones y otros similares. También se ha asignado una cantidad de dinero para hacer frente a posibles imprevistos. El acceso a la información que se utilizará es de dominio público por lo cual no se incurrirá en gastos extras. Todo esto se detalla en la Tabla 8 que se presenta a continuación.

**Tabla 10.**

*Recursos necesarios para la investigación*

Recurso	Descripción	Fuente de financiamiento	Costo
Equipo de computación	Computadora portátil en conjunto de un ratón inalámbrico	Empresa	Q 0.00

Continuación de la tabla 10.

Recurso	Descripción	Fuente de financiamiento	Costo
Licencias Microsoft	Paquete de Office 365 en conjunto con licencia de Microsoft Power BI	Empresa	Q 0.00
Herramientas de apoyo para la elaboración de la tesis	Pagos de revisión anti-plagios en PlagScan,	Investigador	Q 300.00
Humano	Asesor de tesis	Investigador	Q 1,000.00
Financiero	Costos de impresiones, electricidad, combustible entre otros.	Investigador	Q 1,000.00
Infraestructura	Oficina laboral y del hogar	Empresa e investigador	Q 0.00
Imprevistos	Imprevistos	Investigador	Q 300.00
<b>Total</b>			<b>Q 2,600.00</b>

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

Se puede concluir que, la combinación de recursos proporcionados por la empresa, junto con la planificación cuidadosa de los gastos relacionados con la investigación, hace que el estudio sea económicamente viable.

## REFERENCIAS

Administrador del Mercado Mayorista (2023). *Informe de capacidad instalada Sistema Eléctrico Nacional.*  
[https://www.amm.org.gt/portal/?page\\_id=145](https://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145)

Administrador del Mercado Mayorista. (2013). *Norma de Coordinación Comercial No. 5 sobre costos de unidades generadoras forzadas.*  
<https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc05.pdf>

Administrador del Mercado Mayorista. (2015). Norma de Coordinación Comercial No. 4 precio de oportunidad de la energía.  
<https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc04.pdf>

Administrador del Mercado Mayorista. (2020). Norma de Coordinación Comercial No. 1 coordinación del despacho de carga.  
<https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc01.pdf>

Administrador del Mercado Mayorista. (2021). Norma de Coordinación Comercial No. 8 cargo por servicios complementarios.  
<https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc08.pdf>

Ariza, J. G. (2014). Impacto sobre el bienestar social atribuido al fenómeno El Niño (ENOS) y al proceso de cambio climático. Un análisis sobre el mercado de energía colombiano. *Revista LEBRET*, 216(X)62-70.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5983206>

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (2023). *Protocolo específico de lluvias en la república de Guatemala 2023.* <https://conred.gob.gt/wp-content/uploads/PROTOCOLO-ESPECIFICO-DE-LLUVIAS-2023-2.pdf>

Duarte, O., y García, J. (2016). Estimación del precio marginal del sistema eléctrico colombiano: una mirada desde la organización industrial. *Ecos de Economía*, 19(41), 1-23. <https://doi.org/10.17230/ecos.2015.41.1>

Ley General de Electricidad. Decreto 93-96. (15 de noviembre de 1996). Congreso de la República de Guatemala. Diario de Centroamérica. Guatemala. <https://www.cnee.gob.gt/wordpress/wp-content/uploads/2023/nuevostemas/pdf/LGE.pdf>

Lozano, J. (2018). El Mercado Eléctrico Mayorista: Agentes y Modelos de Organización. *Revista TECNIA*, 28(1), 61-72. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v28i1.188>

Lutín, V. (2021). *Estudio de seguridad energética del parque generador de electricidad de Guatemala ante escenarios de pérdida de generación de las centrales San José y Jaguar Energy.* [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1034\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1034_EA.pdf)

Mendoza, A. (2015). *Sistema de monitoreo de mercado eléctrico y aplicación de indicadores en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Archivo digital. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/689>

[7/mendoza\\_basurto\\_aldo\\_hernan\\_sistema.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://mendoza_basurto_aldo_hernan_sistema.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Subsector eléctrico en Guatemala*.  
<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2015/06/Subsector-Electrico-en-Guatemala.pdf>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (octubre de 2023). *Cold & Warm Episodes by Season*.  
[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

Reglamento de la Ley General de Electricidad. Acuerdo Gubernativo 256-97. (2 de abril de 1997). Congreso de la República. Diario de Centroamérica. Guatemala. <https://www.cnee.gob.gt/wordpress/wp-content/uploads/2023/nuevostemas/pdf/RLGE.pdf>

Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista. Acuerdo Gubernativo 299-98. (1 de junio de 1998). Congreso de la República. Diario de Centroamérica. Guatemala [www.cnee.gob.gt/wordpress/wp-content/uploads/2023/nuevostemas/pdf/RAMM.pdf](https://www.cnee.gob.gt/wordpress/wp-content/uploads/2023/nuevostemas/pdf/RAMM.pdf)

Vargas, L. (2015). Trayectoria tecnológica de los mercados eléctricos en Centroamérica. *Revista de Política Económica y Desarrollo Sostenible*, 1(1), 1-23. <http://dx.doi.org/10.15359/peds.1-1.1>



## DOCUMENTACIÓN DEL ASESOR

Byron Alberto Felipe Ajuchán es un ingeniero electricista graduado de la Universidad de San Carlos de Guatemala con estudios de postgrado en áreas de mercados eléctricos, energías renovables, eficiencia energética, estadística aplicada y dirección estratégica de ventas.

Tiene diez años de experiencia en el sector de energía en áreas como planificación y análisis técnico y regulatorio de sistemas y mercados eléctricos, generación y comercialización de energía. Actualmente ocupa la posición de Coordinador Comercial de Ventas de Energía.

Su trabajo de graduación de licenciatura titulado *Optimización del despacho de generación para corto plazo con simulación de escenarios en época seca y lluviosa, considerando la incorporación de centrales eólicas al SNI de Guatemala* y el de postgrado titulado *Modelo estadístico para selección de escenarios de producción hidroeléctrica en la planificación anual del SNI de Guatemala* demuestran su alto conocimiento y su basta experiencia en el Mercado Eléctrico Nacional, convirtiéndolo así en el asesor ideal de este trabajo de investigación.

### Figura 3.

#### Curriculum vitae de asesor



**BYRON FELIPE**

**SISTEMAS Y MERCADOS ELÉCTRICOS | COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA**

**PERFIL**  
Ingeniero electricista con estudios de postgrado en áreas de mercados eléctricos, energías renovables, eficiencia energética, estadística aplicada y dirección estratégica de ventas.

Diez años de experiencia en el sector de energía en áreas como planificación y análisis técnico y regulatorio de sistemas y mercados eléctricos, generación y comercialización de energía. Actualmente ocupa la posición de Coordinador Comercial de Ventas de Energía.

**EXPERIENCIA**

**COORDINADOR COMERCIAL DE VENTA DE ENERGÍA**  
Comercializadora de Energía San Diego – Ingenio San Diego | Febrero 2023 - Actualidad

- Planeación y ejecución de la estrategia comercial de venta de energía a Grandes Usuarios, mediante de captación y fidelización de clientes, desde la prospección hasta la presentación de ofertas, negociación y renegociación de contratos de suministro de potencia y energía.
- Determinación del conjunto de propuestas de suministro que brinden beneficio a los clientes y garanticen la rentabilidad con bajo riesgo a la Comercializadora, bajo el marco de la regulación y normativa vigente del mercado eléctrico nacional y regional.
- Atención de los requerimientos de ofertas de licitaciones de grupos corporativos.
- Atención y seguimiento a Grandes Usuarios para la renovación de contratos y apoyo a los requerimientos comerciales.
- Negociación de contratos de compra de potencia y energía con terceros para incrementar competitividad.
- Ánalisis del entorno, mercado, competencia y clientes para optimizar recursos y establecer las estrategias de venta.
- Ánalisis normativo y regulatorio para la operación de la Comercializadora.

**LÍDER TÉCNICO COMERCIAL**  
Comercializadora de Energía San Diego – Ingenio San Diego | Octubre 2021 – Enero 2023

- Atención en temas técnicos y comerciales de los clientes corporativos y grandes usuarios, incluyendo captación y retención de grandes usuarios mediante oferta, negociación y renegociación de contratos de suministro de potencia y energía.
- Administración de contratos de suministro de potencia y energía con generadores externos.
- Gestión técnica y comercial ante las instituciones del sector (AMM, CNEE, MEM y DGE) y distribuidoras por temas relacionados al suministro de energía de los grandes usuarios.
- Asesoría a la subgerencia comercial sobre temas técnicos y comerciales de mercado y sistema eléctrico nacional y regional.
- Proyecciones y verificación de cargos y liquidaciones en el Mercado Mayorista resultado de las operaciones con contratos y compras al spot.
- Encargado del proceso de facturación a grandes usuarios y conciliación de facturación de proveedores de potencia y energía externos.
- Seguimiento y visitas de campo para fidelización de los clientes, manteniendo reuniones técnicas y comerciales con Gerencias Generales, Gerencias de Operaciones, Gerencias de Mantenimiento, Compras y otros.

**CONTACTO**

 +502 3071-1082

 byron.afa@gmail.com

 Guatemala

 Byron Alberto Felipe Ajuchán

**EDUCACIÓN**

**CERTIFICACIÓN INTERNACIONAL**  
EN DIRECCIÓN ESTRÁTÉGICA DE VENTAS  
Certificación Internacional / National Business School NBS  
2023

**MAESTRÍA EN ESTADÍSTICA APLICADA**  
Maestría / Universidad de San Carlos de Guatemala  
2019-2020

**ESPECIALIZACIÓN EN ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS**  
Postgrado / Universidad de San Carlos de Guatemala  
2020

**POSTGRADO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**  
Postgrado / Universidad Galileo  
2018-2019

**DIPLOMADO DISEÑO DE MERCADOS ELÉCTRICOS E INTEGRACIÓN ENERGÉTICA**  
Diplomado / Instituto Tecnológico de Morelia, Tecnológico Nacional México  
2018

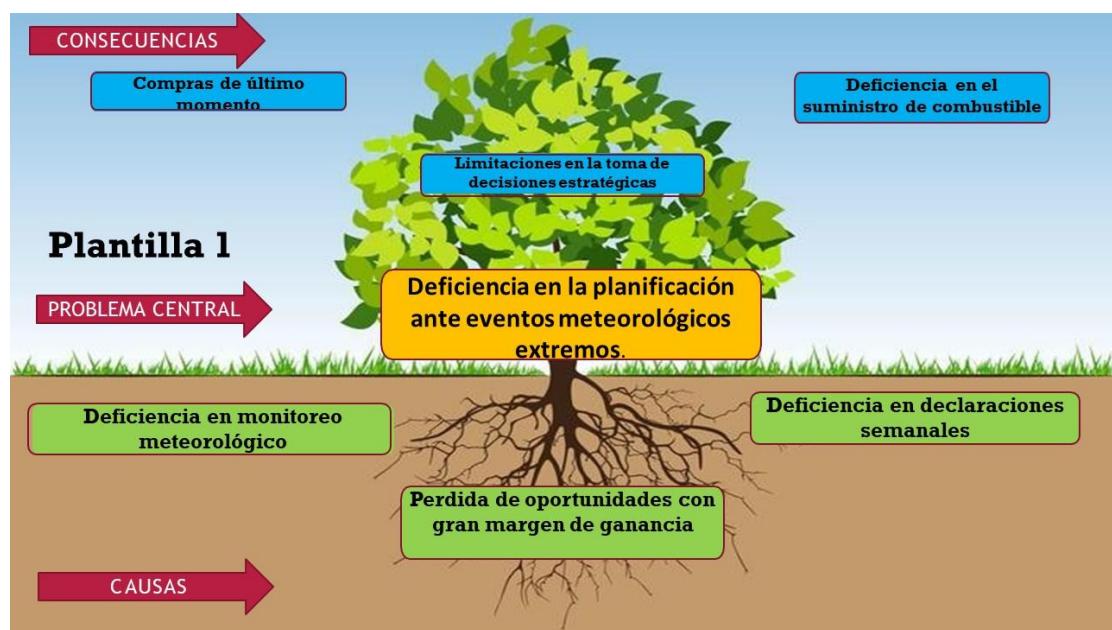
**ESPECIALIZACIÓN EN MERCADOS ELÉCTRICOS**  
Postgrado / Universidad de San Carlos de Guatemala  
2017

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**  
Licenciatura / Universidad de San Carlos de Guatemala  
2016

Nota. Información del asesor. Elaborado propia.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Árbol de problemas



Nota. Árbol de causas y consecuencias del diseño de investigación. Elaboración propia.

