



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA
DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVID-19
EN GUATEMALA**

Carlos Roberto Boch Alvarez

Asesorado por el Mtro. Ing. Luis Felipe Bances Recinos

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA
DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVID-19
EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ROBERTO BOCH ALVAREZ

ASESORADO POR EL MTRO. ING. LUIS FELIPE BANCES RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Fernando Alfredo Moscos Lira
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 INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVI-19 EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 21 de octubre de 2021.

Carlos Roberto Boch Alvarez



EEPFI-PP-0067-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

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

Estimado Ing. Rivera

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVID 19 EN GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Proyectos de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica en un mercado eléctrico regulado**, presentado por el estudiante **Carlos Roberto Boch Alvarez** carné número **201403743**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Gestion 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 Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Luis Felipe Bances Recinos
Asesor(a)
Ing. Luis F. Bances R.
COLEGIADO 5330

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



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





EEP-EIME-0067-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVI 19 EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Roberto Boch Alvarez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

Guatemala, enero de 2022

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

LNG.DECANATO.OI.226.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGÍA A CAUSA DEL COVID-19 EN GUATEMALA**, presentado por: **Carlos Roberto Boch Alvarez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ingra. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el centro de mi vida, mi fortaleza, guía y permitirme cumplir este anhelo tan querido.
- Mis padres** Carlos Boch y Martha Alvarez de Boch. Por ser mi motivación, ejemplo, por esforzarse y trabajar duro para brindarme una oportunidad, los amo.
- Mis hermanos** Rony, Brandon y Karla Boch, por todo el apoyo y amor brindado, porque son personas importantes en mi vida y me acompañaron en este largo proceso.
- Mi familia** Mis abuelos, tíos y primos, ya que fueron personas que en el camino me dieron palabras de aliento y me motivaban a seguir luchando por mis sueños, a ellos les dedico este logro.
- Mis amigos** Por las experiencias vividas y quienes fueron de mucha ayuda para alcanzar la meta, por los momentos que compartimos dentro de las aulas de estudio y también a mis compañeros de maestría por compartir sus conocimientos y amistad, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el lugar donde obtuve mi formación académica y brindarme las herramientas que serían de utilidad para desenvolverme como profesional. Estaré agradecido durante toda mi vida.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y experiencias e inculcarme valores como responsabilidad y perseverancia.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por aportar en mi formación como profesional y permitirme seguir creciendo en un ámbito tan amplio como lo es el sector eléctrico.
Mi asesor	Luis Bances, por brindarme la ayuda necesaria y mostrar su apoyo incondicional y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos.....	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
6.1. Esquema de solución.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Subsector eléctrico de Guatemala.....	18
7.1.1. Ente rector.....	18
7.1.2. Ente regulador.....	19
7.1.3. Ente operador.....	20

7.1.4.	Participantes del mercado mayorista	21
7.1.4.1.	Generador	21
7.1.4.2.	Transportista.....	22
7.1.4.3.	Distribuidor	23
7.1.4.4.	Comercializador.....	23
7.1.4.5.	Gran usuario	24
7.2.	Normativas de operación	25
7.2.1.	Administrador del mercado mayorista.....	25
7.2.2.	Reglamento del administrador de mercado mayorista.....	26
7.2.3.	Normas de coordinación comercial.....	26
7.2.4.	Coordinación de despacho de carga	27
7.2.4.1.	Programación de largo plazo	28
7.2.4.2.	Despacho semanal	29
7.2.4.3.	Despacho diario.....	30
7.2.5.	Precio de oportunidad de la energía	31
7.2.6.	Sobrecostos de unidades generadoras forzadas	33
7.3.	Parque de generación en Guatemala	34
7.3.1.	Tipos de centrales de generación.....	35
7.3.2.	Capacidad instalada	37
7.3.3.	Precio de los combustibles	39
7.3.4.	Demanda del mercado eléctrico	40
7.3.5.	Despacho económico	42
7.4.	Modelos de mercado	42
7.4.1.	Mercado a término.....	43
7.4.2.	Mercado de oportunidad.....	44
7.5.	Crisis global y su impacto en el consumo energético por el COVID-19.....	45

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	49
9.	METODOLOGÍA	53
9.1.	Características del estudio.....	53
9.2.	Unidades de análisis.....	54
9.3.	Variables	54
9.4.	Fases del estudio.....	55
9.4.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	55
9.4.2.	Fase 2: generación de energía	56
9.4.3.	Fase 3: factor de planta	56
9.4.4.	Fase 4: precios de los combustibles	57
9.4.5.	Fase 5: costos variables de generación	58
9.5.	Resultados esperados	59
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	61
11.	CRONOGRAMA.....	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	67
13.	REFERENCIAS.....	69
14.	APÉNDICES	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	16
2.	Marco institucional del subsector eléctrico en Guatemala	21
3.	Agentes del mercado mayorista	25
4.	Capacidad instalada del parque generador de Guatemala por tipo de tecnología	38
5.	Proyección del precio del petróleo	40
6.	Comportamiento de la curva de demanda en Guatemala	41
7.	Proyección del consumo final de energía para América Central.....	46
8.	Cronograma de actividades	65

TABLAS

I.	Normas de coordinación comercial	27
II.	Capacidad instalada.....	38
III.	Tipos de contratos a término	44
IV.	Matriz de variables	54
V.	Criterio de clasificación y nivel de medición de cada variable de estudio	55
VI.	Matriz propuesta para la recolección de datos en la Energía Generada.....	56
VII.	Matriz de recolección de valores para el factor de planta	57
VIII.	Matriz para recolección de datos de los precios para carbón, petróleo y gas	58

IX.	Matriz de recolección de datos para las plantas energéticas	58
X.	Recursos necesarios para realizar la investigación	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Corriente, amperios
kA	Corriente, miles de amperios
mA	Corriente, una milésima de amperio
USD	Dólar estadounidense
<i>F</i>	Función objetivo
GW	Gigavatio
GWh	Gigavatio-hora
kWh	Kilovatio-hora
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

AGMM	Agentes del Mercado Mayorista.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
Carga	Cualquier aparato eléctrico que sea conectado a la red de distribución.
CCDG	Centrales de Generación.
CCHH	Centrales Hidroeléctricas.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Colapso	Paralización del sistema eléctrico.
Cortocircuito	Circuito que se produce accidentalmente por contacto entre dos conductores de polos opuestos y suele ocasionar una descarga.
COVID-19	Es la enfermedad causada por el nuevo coronavirus conocido como SARS-CoV-2. La OMS tuvo noticia por primera vez de la existencia de este nuevo virus el 31 de diciembre de 2019, al ser informada de un

grupo de casos de «neumonía vírica» que se habían declarado en Wuhan (República Popular China).

CVG's	Costos Variables de Generación.
Devanado	Conjunto de conductores enrollados en un núcleo de hierro.
EE	Energía Eléctrica.
IIAA	Ingenios Azucareros.
LGE	Ley General de Electricidad.
ME	Mercado Eléctrico.
MEM	Ministerio de Energías y Minas.
MM	Mercado Mayorista.
MMCI	Motores de Combustión Interna.
MO	Mercado de Oportunidad.
Monomodo	Referente a un tipo de fibra óptica que transporta un haz de luz de forma transversal.
MS	Mercado Spot.

NNCC	Normas de Coordinación Comercial.
PDG	Parques de Generación de Guatemala.
PH	Parque Hidrotérmico.
PMM	Participantes del Mercado Mayorista.
POE	Es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, definido como el costo en el que incurre el sistema eléctrico para suministrar un kilovatio-hora (kWh) adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia.
Precinto	Elemento en forma de argolla con una etiqueta empleada por el AMM para impedir la apertura de una tapadera sin autorización.
Programación	Precisión del despacho de generación de un parque generador, la cual puede ser elaborada para diferentes horizontes de tiempo a futuro.
RAMM	Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista.
RE	Recursos Energéticos.
RLGE	Reglamento de la Ley General de Electricidad.

SE	Sector Eléctrico.
SEEG	Sistema Eléctrico en Guatemala.
SNI	Sistema Nacional Interconectado.
SSE	Subsector Eléctrico.
Termoeléctrica	Instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada por combustibles fósiles.
Transacción económica	Proceso por el cual se realiza un pago por el consumo o producción de energía eléctrica.
TTV	Turbinas de Vapor.

RESUMEN

En marzo del año 2020, se registró en el Guatemala el primer caso positivo de COVID-19. Considerado como el punto de partida de una serie de eventos y sucesos que comprometerían la industria en el país, los servicios y el consumo energético en plantas de producción, afectando directamente la economía y los puestos de trabajo. Motivo por el cual se fueron incorporando restricciones de movilidad, restricciones de agrupación y restricción laborales.

Razón que da motivo a investigar sobre los diversos efectos causados por la pandemia hacia el mercado eléctrico del país, cuales pudieron ser las causas asociadas en la disminución de la demanda energía eléctrica y la reducción directa del despacho hacia las grandes industrias consumidoras. A esto se analizará las variaciones de los precios internacionales de los combustibles y los posibles panoramas como resultado que impactaran en el precio de oportunidad de la energía.

Es importante destacar que la base de la investigación se centrará en la disminución de la demanda energética debido a los confinamientos programados de mayo a octubre del año 2020, además del bloque o conjunto de restricciones hacia el comercio formal y comercio informal, disminuyendo la demanda del recurso energético para satisfacer el modus vivendi de los sectores industriales, sociales y de transporte de mercancías. El impacto de interés se centrará en los valores obtenidos por Precio de Oportunidad de la Energía (POE) y su relación con el consumo energético para el año 2019 versus la proyección de despacho de carga para el año 2020, comparado con el consumo real del año 2020.

1. INTRODUCCIÓN

El comercio y la industria en Guatemala emplea o depende directamente de una fuente continua de energía eléctrica, por lo que los equipos industriales, cuartos refrigerados, maquinaria industrial, equipos de computación, plantas telefónicas, maquinarias de empaclado, equipo de carga amigables con el medio ambiente, necesitan segundo a segundo del vital recurso energético. La demanda crece gradualmente en el país, en el interior y en las zonas periféricas de la ciudad capital, esto debido a la explosión demográfica.

Eventos naturales como sismos, erupciones, inundaciones y una pandemia global no son variables consideradas en la estimación de proyectos industriales, ya que los mismo no son comunes o recurrentes, situación que afecto a Guatemala a partir del 13 de marzo del año 2020, fecha en que se da a conocer el primer caso activo de COVID-19 en el país, los protocolos de reacción de las centrales de generación pueden establecerse sobre conatos de incendios, sismos o inundaciones, pero se han desarrollados protocolos de reacción al decrecimiento del consumo energético por los efectos de las restricciones nacionales.

No se conocen eventos históricos, que afectaran al país de tal forma que el mercado eléctrico y la disminución de la demanda de energía eléctrica afectará potencialmente las operaciones y el despacho del parque generador, sumando a ello la variación de los presiones internaciones de combustibles y derivados de los combustibles, por lo que se plantearon diferentes preguntas de análisis previo a poder determinar el impacto en el precio de oportunidad de la energía en el mercado eléctrico nacional por la baja demanda.

Para el informe final se incluirá en el capítulo I información general del Subsector eléctrico en Guatemala, describiendo los entes rectores, reguladores y operadores, además se incluye el contexto informativo de los Participantes del Mercado Mayorista, así como las subdivisiones para la generación, estatus de los transportistas, requisitos para ser distribuidor, normativas sobre la comercialización de potencia. En dicho capítulo se hace mención del conjunto de Normativas de operación reguladas por el Administrador del Mercado Mayorista, el Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista, las Normas de coordinación comercial y diferentes aspectos a considerar que influyen en las operaciones de las generadoras de potencia.

El capítulo II se abordará con técnicas de documentación bibliográfica, recopilación de información sobre los precios de los combustibles para el año 2020, así como la generación forzada, la proyección de despacho de energía y el precio de Oportunidad de la Energía para esos periodos de tiempo. En el capítulo III conforme los valores obtenidos de informes sobre el impacto generado hacia el año 2020 a causa de la pandemia COVID-19 se presentarán los indicadores de impacto en la carga despacha por semana y por mes, incluyendo la variación del consumo energético para Guatemala en dicho periodo de tiempo.

En el capítulo IV se desarrollará el modelo explicativo sobre la carga proyectada para el año 2020 y la comparación de los valores reales despachados en el mismo año, concluyendo con el capítulo V que en su discusión de resultados se verificarán los valores obtenidos de los indicadores y los valores de las variaciones totales hacia el año 2020.

2. ANTECEDENTES

Durante la pandemia COVID-19 se tuvo un escenario complicado para muchos sectores productivos, los cuales se vieron obligados a mantener un confinamiento durante varios meses y esto llevó a parar la producción de los mismos, dentro de los cuales lo más afectados fueron el sector industrial y comercial, generando una baja demanda en el Sistema Eléctrico a nivel nacional.

Para Pizarro (2021) la repentina aparición del COVID-19 presentó efectos replicables globalizados ya que en el mundo no se preveía algún escenario parecido o similar, por lo que se instruyeron acciones reactivas de restricción, distanciamiento social, disminución o paralización de actividades no esenciales con la intención de reducir los efectos de contagio y priorizar la salud de la raza humana. Debido a esto el sistema eléctrico fue afectado ya que muchas industrias disminuyeron su consumo energético. Además, la reducción en el horario de la jornada laboral jugó un papel muy importante en esta reducción de la demanda.

Según Rodríguez (2020) en su tesis de grado explica que la pandemia COVID-19 no solo ha creado una crisis sanitaria, sino que también una económica. Debido a que, paralizando la industria, el consumo energético se ve afectado de manera significativa mientras que el ritmo de su producción permanece constante, lo cual produce un efecto de una brusca caída de los precios. Estos efectos son precedidos en el mercado de costos, además se influencia por la participación en el Mercado Mayorista, sector específico donde se obtienen y generan las transacciones comerciales para la compra-venta de potencia y energía, todo esto dentro del Mercado Spot, dentro del cual se fija la

última unidad generada y despachada generando por consiguiente un despacho económico.

Para Díez (2016) en su tesis de estudio indica que la demanda en un ámbito general es bastante inflexible, debido al gran inconveniente de que la Energía Eléctrica aún no puede ser almacenada eficientemente en grandes volúmenes una vez generada y por tal motivo la producción y el consumo deben realizarse en el mismo instante durante todo período de tiempo. Adicionalmente, esa inflexibilidad en la demanda favorece a que en un Mercado Eléctrico los vendedores prefieran una competitividad por cantidad por la facilidad de estimar la demanda futura.

Se realizó un estudio donde se indica que se demandará consumo energético de forma proporcional al volumen de las actividades económicas de una determinada región geográfica, ese análisis refuta que por una demanda decreciente en el consumo energético o disminución de manera sostenida, podría afectar importantemente al Sector Eléctrico y reducir escenarios que fueron previstos con probabilidad de expansión, lo que llevaría a impactos negativos para los agentes generadores como para el crecimiento de ese sector Ortega (2021).

El precio *spot*, también denominado costo marginal con referencia a la Energía Eléctrica, se ubica entre los principales indicadores del mercado eléctrico ya que indica la adaptación entre la oferta y la demanda. Para dar una idea más básica, refleja el costo de suministrar un kilowatt hora (kWh) adicional al Sistema Eléctrico. También se encarga de determinar el precio que será necesario emplear en transacciones de energía, son realizadas entre representantes del Mercado Mayorista. Este costo marginal define el precio a corto plazo, pero tiene

efectos en los precios de contrato de suministro de mediano y largo plazo Sikora, Campos y Bustos (2017).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

La pandemia COVID-19 fue un acontecimiento inesperado a nivel mundial que afectó muchos sectores: económicos, sociales, energéticos, industrial entre otros. Específicamente en Guatemala se tomaron medidas como confinamientos, toques de queda que paralizaron la industria y el comercio.

Dentro del sector energético, el administrador del mercado mayorista está obligado a seguir una metodología para establecer el precio de oportunidad de la energía (POE), el cual se establece cada hora, y determina el costo para suministrar un kilovatio-hora (kWh) adicional de energía dependiendo del nivel de demanda al que se encuentre, considerando, entre otros, el tipo de generación de energía y los elementos de transmisión disponibles en ese momento (Norma de Coordinación Comercial No. 4, 2021).

El presente trabajo de investigación radica en el desconocimiento que se tiene sobre los efectos de la pandemia en el mercado eléctrico, debido a la disminución de la demanda de energía eléctrica, lo cual es un factor clave para la operación y despacho del parque generador, sumando a esto la variación de los precios internacionales de los combustibles y como resultado esto impacta directamente en el precio de oportunidad de la energía. Este es el punto de partida para poder plantear y realizar un análisis del impacto debido a la baja demanda de energía eléctrica en el precio de oportunidad de la energía a causa los efectos del COVID-19 en Guatemala.

- Descripción del problema

Disminución de la demanda de energía eléctrica debido a los confinamientos y restricciones que se dieron a causa de la llegada de la pandemia COVID-19, fueron las causas que provocaron un escenario diferente a lo proyectado en la demanda de energía para el año 2020. Como consecuencia de ellos las centrales generadoras redujeron su factor de planta y eso impacta en los precios de oportunidad de la energía del mercado eléctrico nacional, provocando variaciones entre lo planificado y lo despachado.

- Pregunta central

¿Cuál es el impacto en el precio de oportunidad de la energía en el mercado eléctrico nacional, por la baja demanda de potencia y energía, derivado de las restricciones establecidas a causa de la pandemia COVID-19 en Guatemala?

- Preguntas auxiliares

¿Cómo fue el escenario de despacho de carga proyectada y la variación respecto al despacho de carga real debido a la variabilidad de las restricciones por la pandemia covid-19 durante el año 2020?

¿Qué tipo de tecnología tuvo mayor factor de planta durante el año 2020 debido a las variaciones en la demanda de energía?

¿Cuál fue el impacto económico en los agentes generadores debido a los efectos del covid-19 en Guatemala?

- Delimitación del problema

El problema se delimita a conocer los efectos de la baja demanda en el precio de oportunidad de la energía, durante el año 2020 debido a la pandemia covi-19 en Guatemala, para lo cual se utilizarán los informes de despacho de dicho año proporcionados por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y que son de acceso público.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se encuentra bajo dos líneas de investigación las cuales son: Modelos de Gestión de Redes Eléctricas y Energías Renovables e Incidencia en la Matriz Energética de Guatemala, siendo la primera la línea principal, de la Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados. Este estudio se sitúa en la familia de Impactos en el negocio de la distribución eléctrica y Variabilidad y fluctuaciones de indicadores macroeconómicos globales, se utilizan estas dos líneas de investigación y sus respectivas familias dado que el tema abarca una parte de despacho de demanda y conjuntamente precios de la energía para su respectivo desarrollo.

La demanda eléctrica es muy importante para la planificación de la operación y despacho de la energía eléctrica en el sector eléctrico, debido a que depende de ella que agentes generadores entraran a operar para abastecimiento de la misma. Dependiendo de la generación en funcionamiento se establecen los precios de la oportunidad de la energía, los cuales van ligados a los costos variables de operación por tipo de generación. La planificación del despacho se realiza de manera anual, mensual, semanal y diaria dado a que la demanda ha mantenido un comportamiento similar durante la mayoría de años, pero durante el año 2020 la demanda fue reducida debido a las medidas que se tomaron a causa de la pandemia COVID-19.

Resalta su importancia debido al desconocimiento que se tiene sobre los impactos que resultaron debido a la variabilidad de la demanda energética durante los confinamientos que se vivieron debido a la pandemia, lo cual afecta

los precios de oportunidad de la energía, afectando directamente el sector eléctrico.

Actualmente se desconoce el impacto de la baja demanda en los precios de oportunidad de la energía eléctrica, en donde los precios son muy competitivos debido a que existen muchas tecnologías para poder generar energía eléctrica en el país. Se pretende realizar el análisis por medio de la información pública por el Administrador del Mercado Mayorista, realizando una comparación con años anteriores y determinar dicha variabilidad en los precios.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Determinar el impacto que se tuvo en el precio de oportunidad de la energía, derivado de las restricciones y baja demanda por la pandemia COVID-19 en Guatemala.

5.2. Específicos

- Comparar el escenario de despacho de carga proyectado y cómo fue su comportamiento respecto al despacho de carga real por la variabilidad de las restricciones por la pandemia COVID-19 durante el año 2020.
- Determinar qué tipo de tecnología tuvo mayor factor de carga durante el año 2020 debido a las variaciones en la demanda de energía.
- Determinar el impacto económico en los agentes generadores debido a los efectos del COVID-19 en Guatemala.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

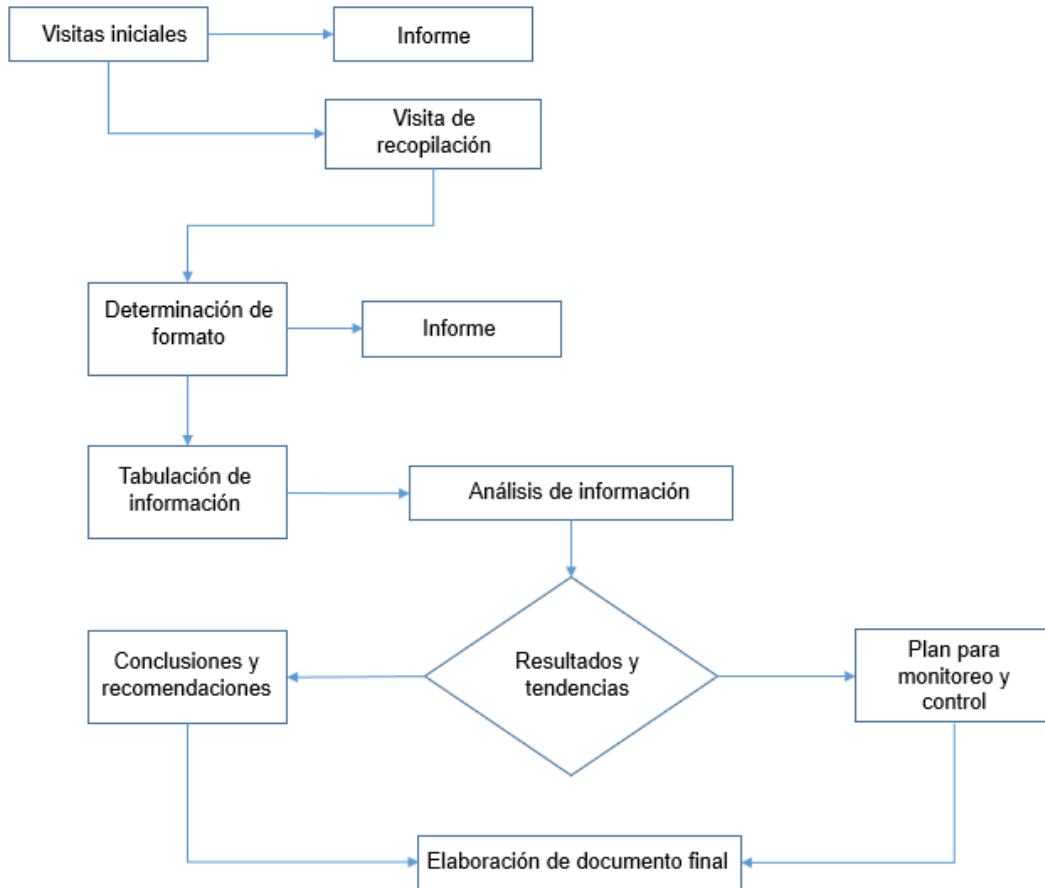
A partir del presente estudio y análisis del comportamiento en la caída de demanda hacia el consumo energético por la industria, sociedad civil y oficinas públicas en Guatemala se obtendrán valores piloto para entender el valor monetario que representó las medidas de contingencia, restricciones y los toques de queda en el país, de tal forma que por el orden de las cosas se detuvieron las empresas privadas destinadas al procesamiento de materias primas, productoras de alimentos empacados y alimentos tipo comida rápida.

La necesidad de obtener los valores estimados en pérdidas monetarias por el parque de generación de energía en Guatemala, el impacto obtenido por el Precio de Oportunidad de la Energía derivado de las restricciones, asociado hacia la baja demanda por la pandemia COVID-19.

6.1. Esquema de solución

Se presenta el diagrama de acciones y tareas dentro del esquema de solución.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Esta será la fundamentación teórica para desarrollar el trabajo sobre el impacto que sufrió el POE debido a la drástica caída de la demanda que se tuvo durante los inicios de la pandemia en Guatemala. En donde se abarcarán aspectos fundamentales y específicos los cuales darán la importancia y esclarecimiento para poder realizar un correcto estudio sobre los resultados que se obtengan y poder realizar las conclusiones de una manera acertada y pueda ser aprovechado para futuros estudios.

Está conformado por cinco secciones, cada una tendrá un aspecto específico a desarrollar, los cuales se consideran importantes para la introducción teórica del estudio realizado. Donde se definirá el subsector eléctrico de una manera general, explicando los diferentes entes que lo integran, seguido de la operación del sector eléctrico para poder comprender los procesos necesarios para llevar a cabo la realización de los despachos de carga, fijar precios.

La siguiente sección muestra el panorama actual del parque de generación y los precios de los combustibles los cuales son importantes ya que se asocian al precio que puede tener la generación que utiliza este tipo de combustibles, las últimas dos secciones consideran los procesos de despacho de generación en base a una programación y lista de mérito, por último, se tratarán conceptos asociados a como es afectado el sistema eléctrico por factores externos.

7.1. Subsector eléctrico de Guatemala

El subsector eléctrico se conformó derivado de la liberalización del mercado eléctrico en Guatemala, dando libre competencia en la generación, transporte, distribución y comercialización de la energía. También Luna (2014) da una perspectiva como sujetos que cuentan con derechos y obligaciones, los cuales deben cumplirse teniendo en cuenta las funciones y objetivos específicos de cada uno. Es por esta razón que Rojas (2016) menciona que el subsector eléctrico debe ser regulado y administrado para crear un mercado competitivo y tener la capacidad de incentivar nuevas inversiones eléctricas.

7.1.1. Ente rector

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la entidad rectora dentro del subsector eléctrico y de hidrocarburos, el artículo 34 de la Ley del Organismo Ejecutivo citado por Luna, 2014 menciona que “le corresponde atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía y de los hidrocarburos, y a la explotación de los recursos mineros (...)” (p. 5), mientras que La Ley General de Electricidad en su artículo 3 citado por Luna, 2014 indica que “el Ministerio de Energía y Minas, es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al subsector eléctrico y aplicar esta ley y su reglamento para dar cumplimiento a sus obligaciones” (p. 6), refiriéndose a las funciones que debe desempeñar el MEM.

Luna (2014) señala que tanto la generación y suministro son responsabilidad del Estado y no debe pasar dicha responsabilidad a sectores privados o municipalidades, por lo cual esta es delegada al Ministerio de Energía y Minas, siendo este el que tiene a su cargo la coordinación. Dentro de las

responsabilidades también se encuentran poder incentivar los proyectos con energías renovables y aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles dentro del país, así como la aplicación de fuentes nuevas e innovadoras.

7.1.2. Ente regulador

El artículo 4 de la Ley General de Electricidad (citado por Luna, 2014) estipula la creación de un órgano encargado de los aspectos técnicos dando paso a la formación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), se pueden resumir las funciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en velar por el cumplimiento de las diferentes normativas que estén en vigencia y de ser necesario aplicar las respectivas sanciones derivadas de incumplimientos de las mismas, dentro de las funciones también se encuentra realizar las investigaciones para garantizar su aplicación, establecer las tarifas referentes al suministro de energía eléctrica y la continuidad del mercado mayorista (Luna, 2014).

Mientras que Rojas (2016) comenta que dentro de sus funciones está el verificar el cumplimiento de la Ley General de Electricidad (LGE) con el fin de proporcionar una sostenibilidad del sector eléctrico. Dentro del artículo 5 de la LGE citado por Luna, 2014 indica que "(...) La Comisión tendrá presupuesto y fondos privativos, los que destinará para el financiamiento de sus fines. Los ingresos de la comisión provendrán de aplicar una tasa a las ventas mensuales de electricidad de cada empresa eléctrica de distribución (...)" (p. 9). Esto deja claro las funciones y la independencia que posee la CNEE.

7.1.3. Ente operador

El artículo 44 de la Ley General de Electricidad citado por Luna, 2014 establece que “la administración del mercado mayorista estará a cargo de un ente privado, sin fines de lucro, denominado Administrador del Mercado Mayorista (AMM)” (p. 9), como expresa el artículo 1 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista citado por Luna, 2014 “es el ente encargado de la administración y coordinación del Mercado Mayorista” (p. 10). Mientras que Rojas (2016) describe que dentro de las funciones del AMM está la operación del sistema nacional interconectado, administrar el mercado por medio del control, la continuidad y seguridad del suministro de energía eléctrica, tomando en cuenta cubrir la demanda, buscando la eficiencia económica tanto en generación, transmisión y distribución del sistema, sumado a poder impulsar planes que permitan la expansión de generación y mantener una matriz energética diversificada según las necesidades del mercado.

Agregando a las funciones que debe cumplir el AMM, Luna (2014) da a conocer que los mantenimientos que se realizan en las centrales generadoras durante cada año son programados por el ente operador, esto con el fin de tener una planificación anual tomando en cuenta que durante dicho período de mantenimiento se tendrá que buscar otra central que cubra o respalde la potencia que esta aporta.

Figura 2. **Marco institucional del subsector eléctrico en Guatemala**



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (2019). *Mercado eléctrico de Guatemala y posibilidad de inversión.*

7.1.4. **Participantes del Mercado Mayorista**

Los participantes del mercado mayorista como se puede deducir fácilmente, son las entidades involucradas en diferentes procesos que van de la generación hasta la distribución, según el artículo 6 de la Ley General de la Electricidad citado por Luna, 2014 “Son los generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores y transportistas cuyo tamaño se supere el límite establecido en el reglamento de esta ley”.

7.1.4.1. **Generador**

Desde una visión general dentro del ámbito eléctrico, un generador es el encargado cualquier tipo de energía (mecánica, hidráulica, vapor, entre otros), en energía eléctrica, Rojas (2016) define que es el agente encargado de generar la

energía eléctrica y es considerada la fuente principal para estructurar la operación de un mercado eléctrico mayorista. Según el artículo 6 de la LGE citado por Luna, 2014 “es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad” (p. 13).

Para ser considerado generador, el Reglamento de la Ley General de Electricidad establece que debe tener una potencia máxima superior a cinco megavatios (5MW). Otro aspecto importante que expresa Luna (2014):

La diversidad de tecnologías que se disponen en la actualidad para los procesos de generación, dentro de las más utilizadas en la matriz energética de Guatemala están las hidroeléctricas, turbinas de gas, turbinas de vapor, motores de combustión interna, solares, fotovoltaicas, entre otras. (p. 13)

7.1.4.2. Transportista

El transportista según la Ley General de Electricidad citado por Luna, 2014 “es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad” (p. 14). Como se indicó anteriormente, el encargado de poder coordinar dicha operación es el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), con lo relacionado al transporte Luna (2014) menciona que “En Guatemala se conforma un sistema principal de transporte, el cual comparten las interconexiones y generadores, por otra parte, el sistema secundario es el enlace entre un generador y la red de transmisión nacional” (p. 14).

De acuerdo con Rojas (2016), la función del transportista es transmitir la energía eléctrica generada optimizando la capacidad de la línea, también se define que los niveles de voltaje utilizados para la transmisión de energía eléctrica, abarcan de 34.5 kV hasta 400 kV, y dentro de los beneficios del agente transportista existe una cuota debida a mantenimiento, mano de obra, readecuación de equipos.

7.1.4.3. Distribuidor

En la Ley General de Electricidad en el artículo 6 citado por Luna, 2014 se define como: “es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica” (p. 15). Actualmente los distribuidores en Guatemala según (Luna, 2014) son: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA), Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A. (Deocsa), Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (Deorsa) y empresas municipales las cuales en total son dieciséis.

Adicionalmente Rojas (2016) indica que la función del distribuidor es hacer llegar la energía eléctrica a los consumidores finales, y los voltajes que se manejan para este servicio van desde 1 kV hasta 34.5 kV. Dentro de esto cabe recalcar que para ser un distribuidor se necesita como mínimo de brindarle servicio a 15,000 usuarios y su funcionamiento es regulado por las normas emitidas por el AMM y la CNEE.

7.1.4.4. Comercializador

La Ley General de Electricidad citado por Luna, 2014 define a un comercializador como: “es la persona, individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de

intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo” (p. 14), esto indica que un comercializador es solamente un ente que realizar la compra y venta, sin tener algún activo o proceso físico en los diferentes entes, adicionalmente Luna (2014) indica que el MEM estipula que el límite para ser considerado comercializador es de cinco megavatios (5 MW) según el Acuerdo Ministerial 195-2013.

7.1.4.5. Gran usuario

Para definir a un gran usuario, el artículo 6 de la Ley General de Electricidad citado por Luna, 2014 “es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de esta Ley” (p. 16). Dicho con palabras del RLGE (citado por Luna, 2014) “Es un consumidor de energía cuya demanda de potencia excede cien kilovatios (kW), o el límite inferior fijado por el Ministerio en el futuro” (p. 16), dentro del reglamento expresa que los precios y condiciones de suministro serán definidas directamente con el distribuidor o cualquier suministrador por lo cual no está sujeto a regulación de precios.

Con base en lo descrito anteriormente, Luna (2014) da a conocer que por la potencia necesaria para ser un gran usuario los más comunes son: fabricas, edificios, condominios.

Figura 3. **Agentes del mercado mayorista**



Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (2019). *Mercado eléctrico de Guatemala y posibilidades de inversión.*

7.2. Normativas de operación

Para la regulación de generación y distribución de potencia es necesario adecuarse a ciertos principios básicos.

7.2.1. Administrador del mercado mayorista

Como se definió en la sección anterior, el Administrador del Mercado Mayorista es el encargado de la operación y coordinación del sistema eléctrico en Guatemala, Villalobos (2018) afirma que al Administrador del Mercado Mayorista le corresponde “la coordinación de las operaciones de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre agentes del mercado mayorista” (p. 15).

7.2.2. Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista

De acuerdo con La Ley General de la Electricidad (2013), el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista queda emitido según acuerdo gubernativo 299-98, el cual tiene como finalidad la regulación del funcionamiento del Administrador del Mercado Mayorista, Sánchez (2012) da a conocer que “define los principios del Mercado Mayorista, así como la organización, funciones y mecanismos de financiamiento del Administrador del Mercado Mayorista” (p. 10).

7.2.3. Normas de coordinación comercial

Las normas de coordinación comercial según el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (2012) define que “(...) tienen por objeto coordinar las actividades comerciales y operativas, con la finalidad de garantizar la continuidad y la cantidad del servicio.” (p. 65). Adicionalmente Luna (2014) define que el encargo de emitir dichas normas es el Administrador del Mercado Mayorista, pero estas son aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Hasta el año dos mil veintiunos, se han emitido quince Normas de Coordinación Comercial por medio del Administrador del Mercado Mayorista y aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Tabla I. **Normas de coordinación comercial**

Norma	Función
NCC-1	Coordinación de despacho de carga
NCC-2	Oferta y demanda firme
NCC-3	Transacciones de desvíos de potencia
NCC-4	Precio de oportunidad de la energía
NCC-5	Sobrecostos de unidades generadoras forzadas
NCC-6	Tratamiento de las pérdidas del sistema de transmisión
NCC-7	Factores de pérdidas nodales
NCC-8	Cargo por servicio complementarios
NCC-9	Asignación y liquidación de peaje en los sistemas de transporte principal y secundarios, cargos por el uso del primer sistema de transmisión regional
NCC-10	Exportación e importación de energía eléctrica
NCC-11	Informe de costos mayoristas
NCC-12	Procedimientos de liquidación y facturación
NCC-13	Mercado a término
NCC-14	Habilitación comercial para operar en el Mercado Mayorista y sistema de medición comercial
NCC-15	Norma de desconexión del sistema nacional interconectado, suspensión de operaciones y deshabilitación en el mercado mayorista.

Fuente: elaboración propia.

7.2.4. Coordinación de despacho de carga

Los alcances de la coordinación del despacho de carga, están definidos en la Norma de Coordinación Comercial 1 (NCC-1), teniendo en cuenta a Penagos (2006), quien señala que, para poder realizar la programación del despacho de carga, se debe realizar una comparación entre las ofertas (incluyendo reservas) de los agentes generadores que estarán disponibles y la demanda que se ha previsto o demanda proyectada.

Mientras que Luna (2016) afirma lo siguiente:

Norma de Coordinación Comercial número 1, resolución 157-01 del AMM, se refiere a la coordinación del despacho de carga y tiene por objetivo satisfacer la demanda de potencia y energía eléctrica proyectada, la programación de la salida de servicio de los generadores y sistemas de transmisión, la optimización de la generación hidrotérmica y la identificación y solución de problemas operativos que surjan en el sistema eléctrico nacional a nivel comercial (p. 29).

Dentro de la NCC-1 se detalla la programación de largo plazo que se presenta anualmente (año estacional), programación de corto plazo la cual se presenta de forma semanal y diariamente, despacho diario que se presenta de forma diaria y horaria, por último, el postdespacho que se presenta de forma diaria y horaria luego de finalizado el día, el AMM solicitará a los participantes del MM cierta información para poder definir la programación cumpliendo con los objetivos establecidos en el RAMM.

7.2.4.1. Programación de largo plazo

La NCC-1 (2020) define la programación de largo plazo en un año estacional, el periodo inicia el 1 de mayo y termina el 30 de abril del siguiente año. Adicionalmente Sánchez (2012) manifiesta que esta programación es solamente indicativa ya que habrá muchos factores que podrían crear escenarios no esperados dentro de lo planificado. Dentro de la información que se solicita para dicha programación se deben incluir los valores mensuales de generación y demanda, la programación de mantenimientos de unidades generadoras e instalaciones transporte de energía, operación mensual de los embalses tomando en cuenta riesgos de vertimiento o escasez de la oferta hidroeléctrica,

proyección de los precios medios ponderados de la energía por banda horaria, la asignación adecuada de las reservas operativas, entre otros (Norma de Coordinación Comercial No.1, 2020, p. 3).

Dentro de los objetivos de la programación semanal la NCC-1 (2020) define los siguientes.

- Definición de los horarios de arranque y parada de unidades generadoras térmicas base.
- Asignación diaria de la generación de centrales hidráulicas, tomando en cuenta los usos no energéticos del agua y restricciones ambientales.
- Manejo de restricciones de combustibles.
- Asignación de generación mínima en cada área a fin de asegurar la continuidad del servicio eléctrico en caso de desconexión de alguna línea de transmisión crítica o de separación de la red. (p. 12)

7.2.4.2. Despacho semanal

La NCC-1 (2020) define el período semanal iniciando domingo y finalizando sábado, el AMM realizara la programación del parque hidrotérmico con la finalidad de optimizarlo con el objetivo de minimizar el costo total de la operación. Sánchez (2012) agrega que en dicha programación se fallas de larga y corta duración que podrían ocurrir dentro de dicho período contribuyendo así a minimizar los costos de desconexión a la red.

Dentro de los objetivos de la programación semanal la NCC-1 (2020), define los siguientes.

- Definición de los horarios de arranque y parada de unidades generadoras térmicas base.
- Asignación diaria de la generación de centrales hidráulicas, tomando en cuenta los usos no energéticos del agua y restricciones ambientales.
- Manejo de restricciones de combustibles.
- Asignación de generación mínima en cada área a fin de asegurar la continuidad del servicio eléctrico en caso de desconexión de alguna línea de transmisión crítica o de separación de la red (p. 12).

7.2.4.3. Despacho diario

De igual manera, la NCC-1 (2020) indica que el AMM realizará la programación para el siguiente día con un periodo de 24 horas de antelación, en donde definirá la potencia que cada unidad deberá generar dentro de las diferentes bandas horarias a lo largo del día, dentro de dicha programación se deberá considerar las limitantes que posee la red, otro aspecto a considerar son eventos como feriados.

Adicionalmente Sánchez (2012) describe aspectos a tomar en cuenta para su realización:

- Minimización del costo total de operación, considerando el costo de falla, el costo variable de generación de cada unidad generadora en el SIN,

compra mínima de energía obligada de los contratos existentes y el costo de los servicios complementarios, utilizando técnicas de optimización.

- Consideración de pérdidas y restricciones en el sistema de transmisión.
- Asignación de la generación hidráulica total calculada en la programación semanal a períodos horarios, tomando en cuenta eventuales modificaciones importantes en los aportes de agua.
- Mantener los requerimientos operativos de calidad y de confiabilidad, de acuerdo con los criterios de calidad y niveles mínimos de servicio, definidos en las Normas de Coordinación Operativa y los criterios de desempeño mínimo.
- Consideración de los criterios de desempeño mínimo de las unidades generadores.

7.2.5. Precio de oportunidad de la energía

Ley General de Electricidad (2013), define que “es el valor de Costo Marginal de Corto Plazo de Energía en cada hora, o en el período que defina La Comisión Nacional de Energía Eléctrica, establecido por el Administrador del Mercado Mayorista, como resultado del despacho” (p. 68). Por su parte la NCC-4 (2021) detalla que el Precio de Oportunidad de la Energía (POE) es establecido por la unidad de costo marginal la cual posee el máximo Costo Variable de Generación (CVG) de las unidades generadores disponibles y debe cumplir con un período de generación de 15 minutos como mínimo durante esa hora para poder marginar dicho precio.

Luna (2016) define al POE de la siguiente manera:

Norma de Coordinación Comercial número 4, resolución 157-02 del AMM, contiene lo relativo al precio de oportunidad de la energía, el cual es constituido por el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora y éste es definido como el costo en que incurre el sistema eléctrico para suministrar un kilovatio-hora adicional de energía a un determinado nivel de demanda de potencia y la disponibilidad del parque de generación (p. 29).

Para realizar el cálculo del POE, Sánchez (2012) menciona la necesidad de conocer la potencia disponible (MW), los costos variables (US\$/MWh), las pérdidas nodales de banda mínima, media y máxima. Adicionalmente existen regímenes de operación definidos para los agentes generadores que estén operando definidos como:

- Régimen de transición: la unidad generadora que se encuentre operando en rampa de toma de carga asociada al proceso de puesta en servicio comprendido desde el momento de sincronización hasta el momento en que alcanza su mínimo técnico. Asimismo, se considerará en este régimen a las unidades generadoras operando en rampa de descarga, que comprende desde el momento en que haya recibido orden de desconexión del sistema hasta el momento en que efectivamente queda desconectada del Sistema.
- Régimen de prueba: la unidad generadora que se encuentre efectuando pruebas de Potencia Máxima, pruebas de Disponibilidad o pruebas solicitadas por el Participante Productor.

- Régimen forzado: la unidad generadora requerida para operar por razones distintas a su costo variable y debido a 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, de acuerdo a lo establecido en la Norma de Coordinación Comercial Número 5.
- Régimen permanente: la unidad generadora que no se encuentre operando en ninguno de los regímenes de Transición, Prueba o Forzado. (NCC-4, 2021, p. 2)

De encontrarse alguna unidad generadora dentro de alguno de los diferentes regímenes, esta no podrá participar en el establecimiento del POE.

7.2.6. Sobrecostos de unidades generadoras forzadas

Desde el punto de vista de Felipe (2016) “el costo de operación varía para cada tecnología de generación de acuerdo al combustible utilizado y características particulares de operación y mantenimiento” (p. 65); “Adicionalmente para dicho costo pueden influir factores como el tipo de tecnología y los diferentes periodos que abarcan el año estacional” (Lutín, 2021, p. 22), también se declara que: “se puede calcular de acuerdo a una fórmula metodológica que incluya todos los costos en los que se incurre por cada central de generación para producir energía, considerando las características operativas y tipo de combustible” (Felipe 2016, citado por Lutín 2021, p. 22).

Como se indicó anteriormente, los costos de generación son diferentes por el tipo de tecnológica, esto debido a los combustibles que cada tipo de generación

necesita, para comprender de una mejor manera la importancia de los CVG´s de las centrales, se describe lo siguiente.

Cabe mencionar la importancia de presentar la conceptualización de los CVG´s de las centrales, ya que dichos costos son indicadores directos del tipo de tecnología que se esté utilizando en precisos momentos para abastecer de electricidad la demanda de Guatemala, indicadores que se interpreten a través del precio spot, lo cual también podría ser un indicador de la cantidad de transacciones a corto plazo que esté realizando el país con México y Centroamérica. (Lutín, 2021, p. 23)

7.3. Parque de generación en Guatemala

Como expresa Lutín (2021), “los parques generadores de electricidad tienen como razón de ser generar electricidad para abastecer la demanda de esta.” (p. 12), por lo que un parque de generación cuenta con diversidad de tecnológicas para realizar el proceso de generación de energía eléctrica, adicionalmente “en la actualidad es muy común que en muchos países los parques generadores de electricidad, además de las centrales de generación instaladas dentro de sus fronteras, también hagan uso de las interconexiones con países vecinos para importar electricidad (...)” (Lutín, 2021, p. 12).

Adicionalmente Felipe (2016) indica que “el parque generador instalado en el SNI se caracteriza por tener una alta aportación de fuentes renovables convencionales, como el recurso hidroeléctrico, geotérmico y la biomasa” (p. 10). Debido a que el parque de generación actualmente cuenta con una diversificación importante, se debe mencionar que “Guatemala actualmente cuenta con un sobre oferta de generación que ha permitido una sólida seguridad del Sistema Nacional Interconectado (SNI), así como también la posibilidad de

exportar energía eléctrica a Centroamérica y México.” (Informe Administrador del Mercado Mayorista, 2020, p. 12).

7.3.1. Tipos de centrales de generación

“Las centrales eléctricas que conforman el parque de generación pueden clasificarse tomando en cuenta el tipo de energía transformada, según control de generación y por su función dentro del sistema, entre otros” (Felipe, 2016, p.11).

Clasificación según energía primaria utilizada para generar Felipe (2016):

Generación con fuentes Renovables:

Centrales hidroeléctricas: estas centrales convierten, por medio de turbinas hidráulicas, la energía potencial del agua en energía mecánica que acciona el rotor del generador eléctrico. Se clasifican según la capacidad de su embalse para almacenar agua y luego distribuirla para generar en diferentes períodos cuando sea necesario. Pueden ser de regulación anual cuando son capaces de distribuir y transferir energía entre períodos de meses, de regulación diaria cuando son capaces de distribuir y transferir energía entre horas o filo de agua cuando no tiene capacidad de embalse.

Centrales geotérmicas: estas centrales utilizan la energía calorífica contenida en el interior de la tierra para producir electricidad. El aprovechamiento de la energía geotérmica se hace con la misma tecnología de las centrales térmicas de vapor convencionales.

Centrales solares fotovoltaicas: en estas centrales se convierte la luz del sol en electricidad por medio de paneles fotovoltaicos que permiten transformar la energía luminosa en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.

Centrales eólicas: en estas centrales se aprovecha el movimiento de las masas de aire para producir energía eléctrica. Es aprovechada por medio de un aerogenerador que es capaz de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. (p. 12)

Generación No Renovable:

Centrales térmicas: este tipo de central aprovecha la energía calorífica de un combustible para transformarla en electricidad. Utilizan la energía mecánica obtenida en un ciclo termodinámico para convertirla en electricidad por medio de turbinas. Estas se clasifican según el tipo de ciclo termodinámico que utilizan, pueden ser centrales de vapor, centrales de turbinas de gas y motores reciprocantes. Los combustibles que se utilizan para estas centrales normalmente son carbón mineral, biomasa, búnker y diésel. (p. 12)

Felipe (2016) clasifica las centrales según el funcionamiento desempeñado en el sistema.

Centrales base: estas suministran la mayor cantidad de energía eléctrica de forma continua, están sometidas a variaciones de carga lentas. Ejemplo de estas centrales son las hidroeléctricas de filo de agua, centrales geotérmicas y las centrales térmicas a vapor.

Centrales de punta: trabajan junto a las centrales base cuando existen aumentos de demanda. Las centrales que generalmente desempeñan esta función son las hidroeléctricas de regulación diaria, motores de combustión interna y centrales térmicas con turbinas de gas.

Centrales de reserva: son centrales de uso intermitente, ya que su función es compensar instantáneamente el desbalance entre demanda y generación del sistema ante las variaciones de la demanda durante los ciclos diarios. Las centrales más utilizadas como reserva son las hidroeléctricas de regulación diaria y motores de combustión interna.

Centrales de emergencia: son aquellas centrales que tiene rápida puesta en funcionamiento. Sirven para cubrir efectos de fallas de centrales de generación o líneas de transmisión. Generalmente las centrales utilizadas para este fin son las centrales térmicas con turbina de gas y motores de combustión interna de arranque rápido. (p. 13)

7.3.2. Capacidad instalada

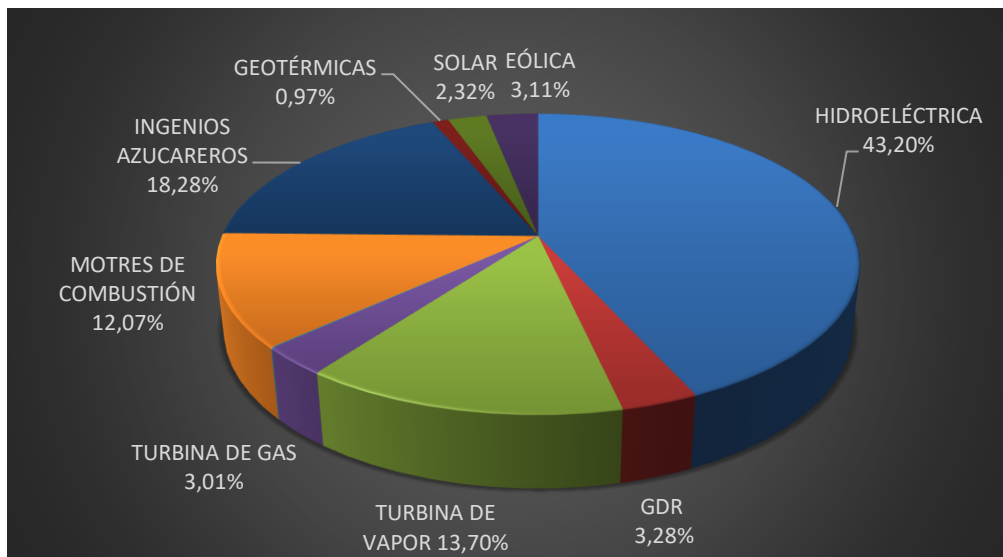
Según Villalobos (2018), “la capacidad instalada hace referencia a la sumatoria de potencia máxima, que todas las plantas instaladas pueden llegar a generar” (p. 22). Esta se ve afectada por condiciones climática en el caso de las hidroeléctricas, solares fotovoltaicas y eólicas. Por otro lado, el precio de los combustibles en el caso de las plantas térmicas. A continuación, se muestra la capacidad instalada del parque de generación de Guatemala.

Tabla II. **Capacidad instalada**

Tecnología	Potencia efectiva al sistema (MW)	Porcentaje
Hidroeléctrica	1 491,224	43,20 %
GDR	113,229	3,28 %
Turbina de vapor	472,765	13,70 %
Turbina de gas	103,732	3,01 %
Turbina de gas natural	2,586	0,07 %
Motores de combustión	416,4695	12,07 %
Ingenios azucareros	630,783	18,28 %
Geotérmicas	33,3775	0,97 %
Solar	80	2,32 %
Eólica	107,4	3,11 %
Total	3 451,566	100,00 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Capacidad instalada del parque generador de Guatemala por tipo de tecnología**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 3 las centrales hidroeléctricas son las que tiene mayor representación dentro del parque de generación guatemalteco, seguido por los ingenios azucareros, turbinas de vapor y motores de combustión interna.

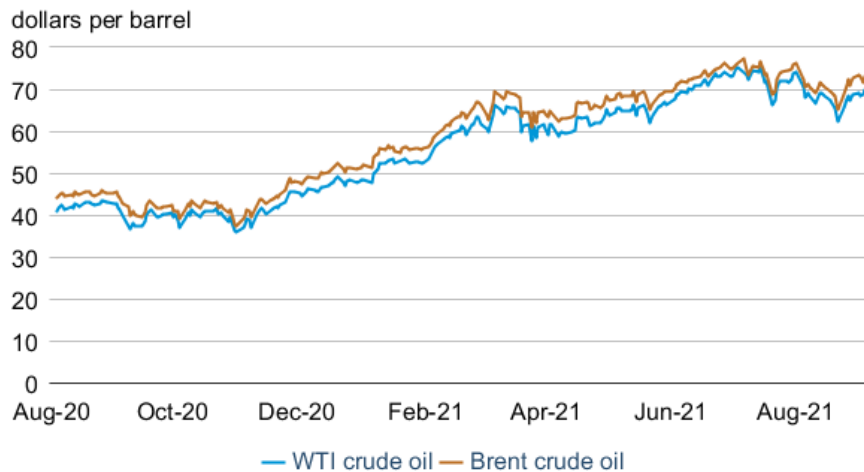
7.3.3. Precio de los combustibles

Las fuentes de suministro para este tipo de combustibles son limitadas, por esta razón y sumado a otros factores su precio es fluctuante, Villalobos (2018) menciona que “la variación del precio en los combustibles fósiles, tienen una relación directa con el precio spot, debido a la dependencia del uso de estos para la generación de centrales que utilizan estos combustibles” (p. 29). También se manifiesta que:

El precio de referencia es una aproximación al precio máximo que puede llegar a tener los combustibles. Su uso elimina posibles distorsiones de los precios internos de los combustibles en Guatemala y permite comparar los costos económicos de los distintos medios de generación. (Sontay, 2011, p. 42)

Estos tipos de generación se consideran no renovables por los combustibles utilizados, dentro de los cuales se pueden mencionar: petróleo, gas natural y carbón mineral.

Figura 5. **Proyección del precio del petróleo**



Sources: Graph by EIA, based on CME Group and Intercontinental Exchange, compiled by Bloomberg L.P.
Note: WTI=West Texas Intermediate

Fuente: Energy Information Administration (2021). *Proyección de precios del petróleo*.

Según la EIA (2021) La caída de los precios del petróleo crudo durante el año 2020 y el aplanamiento de la curva se debe a los efectos del aumento de casos de COVID-19, los cuales alcanzaron su punto más bajo a finales de agosto. Debido a que el aumento ha sido muy notable a partir del año 2021, esto tiene un impacto significativo en los costos de generación que utilizan este tipo de combustibles.

7.3.4. Demanda del mercado eléctrico

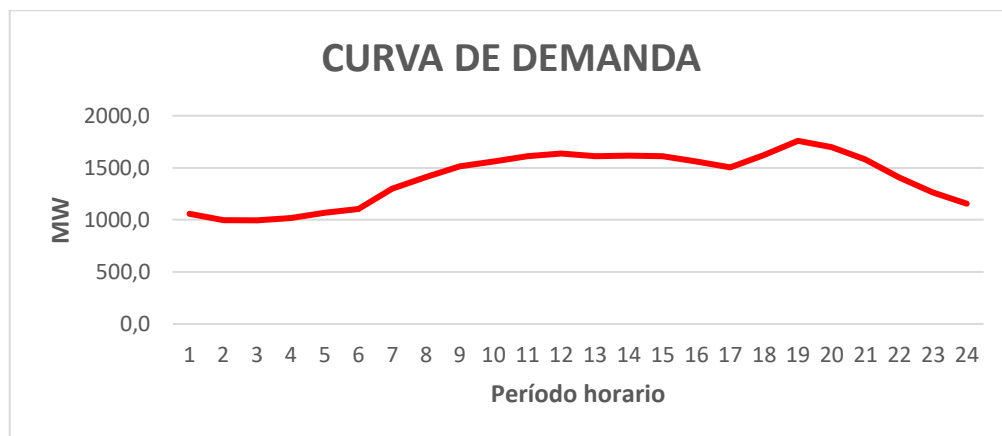
De acuerdo con Villalobos (2018), quien da a conocer que “la demanda de energía eléctrica es estimada diariamente por el Administrador del Mercado Mayorista, para determinar cuántas y cuales plantas generadoras participaran en el despacho diario de energía, cada hora del día” (p.26), adicionalmente se agrega que el AMM “está a cargo también de convocar a las plantas generadoras

con el menor costo variable que reportan (costo de operación” (Villalobos, 2018, p. 26). Por esta razón se debe monitorear cada hora las variaciones de la demanda, es importante mencionar que Felipe (2016), señala que “en Guatemala están definidas tres bandas horarias que corresponde a los períodos de Demanda Mínima de 22:00 a 06:00 horas, Demanda Media de 06:00 a 18:00 horas y Demanda Máxima de 18:00 a 22:00 horas” (p. 17).

Existen factores que afectan la demanda sobre los cuales Sontay (2011) los clasifica de la siguiente manera.

- Factores económicos
- Factores temporales
- Factores climáticos
- Efectos aleatorios

Figura 6. **Comportamiento de la curva de demanda en Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

7.3.5. Despacho económico

Leal (2005) define que “la planificación de corto plazo, determina la programación horaria, económica y confiable de la operación de cada unidad generadora del sistema, llamado despacho económico” (p. 11), para lograr el despacho de una manera óptima, es importante definir un orden para las centrales hidráulicas, térmicas, solares, eólicas, entre otros. Por lo que “las centrales generadoras deben presentar información periódica respecto a su CVG, lo cual se utiliza para realizar una lista de mérito hasta cubrir la demanda del SNI, reservas y compromisos internacionales” (AMM, 2020, p. 9).

Adicionalmente Leal (citado por Lutín, 2021) menciona que “el despacho económico determina la salida de potencia activa de cada planta generadora, necesaria para alimentar la carga del sistema, minimizando el costo operativo total, respetando criterios de calidad del servicio (frecuencia y voltaje)” (p. 17). Otro aspecto importante que se debe considerar para un despacho económico es la variabilidad de la operación a lo largo del tiempo, por tal motivo el éxito de la operación está sujeto al periodo seleccionado para su planificación (Leal, 2005).

7.4. Modelos de mercado

En relación con este tema, Rojas (2016) describe que “en el mercado eléctrico guatemalteco y en el de la región se cuentan con dos modalidades para poder realizar transacciones” (p. 39), estas modalidades son llamadas mercado a término y mercado de oportunidad, las cuales son utilizadas para comprar y vender en el Mercado Mayorista.

Citando a Felipe (2016), quien define que “las transacciones de energía se pueden dar en el Mercado de Oportunidad (MO) o en el Mercado a Término (MT) y las transacciones de potencia en el Mercado a Término o en el Mercado de Desvíos de Potencia (MDP)” (p. 5). También es importante considerar que:

Sin embargo, es importante mencionar que el mercado de oportunidad es un mercado de corto plazo y por otro lado el mercado de contratos es uno de mediano y largo plazo, donde crea incentivos para la expansión de variables económicas y crear un crecimiento estipulado basado en estas premisas (AMM, citado por Rojas, 2016, p. 39).

7.4.1. Mercado a término

El mercado a término donde Sontay (2011) indica que “está conformado por el conjunto de contratos entre Agentes y Grandes Usuarios, con plazos, cantidades y precios pactados libremente entre las partes” (p. IX). Es importante mencionar que la NCC-13 es la encargada de establecer los parámetros y requerimientos necesarios para poder realizar dichos contratos. Dentro de dicha norma se establece que:

El AMM tendrá la responsabilidad de coordinar comercial y operativamente dentro del MM dichos contratos respetando los términos contractuales informados a través de Planillas de Contratos por las partes contratantes, realizando el seguimiento en cuanto a las diferencias entre la energía y potencia de los Participantes del MM que resultan de sus transacciones de compra y venta y liquidando estas diferencias como excedentes o faltantes en el Mercado de Oportunidad de la Energía y en el Mercado de Transacciones de Desvíos de Potencia. (NCC-13, 2019, p. 2)

Dentro de los contratos que están establecidos en la NCC-13 se mencionan.

Tabla III. **Tipos de contratos a término**

Tipo de contrato	Acciones definidas
Contratos de abastecimiento	Contratos por diferencias con curva de carga
	Contratos de potencia sin energía asociada
	Contratos de opción de compra de energía
	Contratos por diferencias por la demanda faltante
	Contratos existentes
	Contratos de energía generada
Contratos de reserva de potencia	Respaldo de potencia
	Respaldo de energía generada
	Contratos de exportaciones o importaciones
	Vendedor y comprador en los contratos a término
	Contratos de oferta firme eficiente para cubrimiento de transacciones internacionales de corto plazo

Fuente: elaboración propia.

7.4.2. Mercado de oportunidad

El mercado de oportunidad está relacionado con el POE o precio spot, en la sección 2.3.2 se definió dicho termino, es importante mencionar que según Escobar (2013) “el Mercado de Oportunidad o mercado spot es el conjunto de transacciones de compra-venta de electricidad de corto plazo, es decir que no están basadas en contratos a término” (p. 43). Desde el punto de vista de Sontay se define como:

Por lo que Sontay (2012) define el mercado de oportunidad.

También llamado Mercado Spot en donde las transacciones de oportunidad de energía eléctrica, se realizan entre el universo de compradores y vendedores del Mercado Mayorista, que cuentan con excedentes de energía no comprometida en contratos y que son liquidadas con un precio establecido en forma horaria; calculado en base a costo marginal de corto plazo, que resulta del despacho de la oferta de generación disponible.

Como se ha explicado, el mercado de oportunidad no se establece por contratos, ya que el precio de la energía es establecido por el costo marginal en dicha banda horaria.

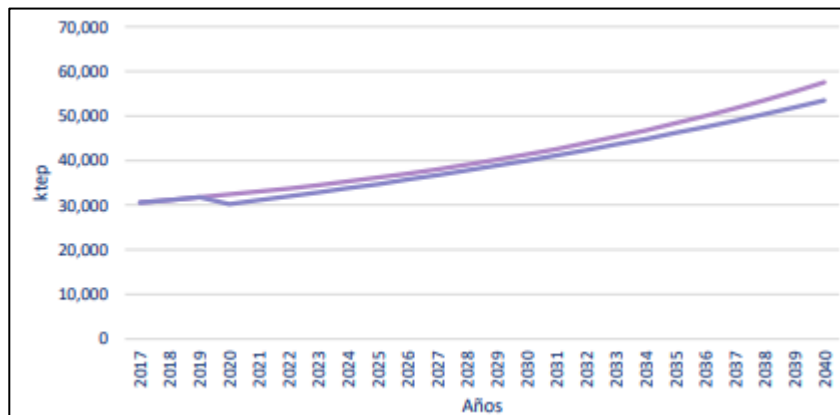
7.5. Crisis global y su impacto en el consumo energético por el COVID-19

En el Análisis de los impactos de la pandemia del COVID-19 sobre el Sector Energético de América Latina y el Caribe denota en su introducción, que por causas de dicha pandemia en la región de América Latina se forzó a generar medidas reactivas sanitarias, destacando el aislamiento social, por lo que se empujó por completo al sistema mundial hacia la paralización en su mayoría de todos los sistemas productivos, afectando directamente los ingresos nacionales.

Agrega García (2020) que conforme el crecimiento gradual de personas infectadas y casos activos, se fueron endureciendo e incrementando las medidas sanitarias de aislamiento, tornándose como una actividad esencial del diario vivir como el *modus vivendi* obligatorio, según los datos evaluados por este autor indique que no todos los sectores demandantes de energía eléctrica fueron afectados, se notó incremento en el sector residencial, ya sea por teletrabajo, estancia permanente del núcleo familiar, o por diferentes tareas asociadas al diario vivir, pero, el mayor sector golpeado fue el sector comercio y el sector

industrial, unos por disminuir sus ventas o prestación de servicios ante los cierres parciales y el otro sector por la clausura de actividades no prescindibles.

Figura 7. **Proyección del consumo final de energía para América Central**



Fuente: García, F. (2020) *Análisis de los impactos de la pandemia del COVID-19 sobre el sector energético de América Latina y el Caribe*.

De la figura anterior expone García (2020):

“El Consumo Final de Energía en América Central, caería en torno al 7 % en el 2020, respecto al mismo año en el escenario de referencia y un 5 % respecto al año 2019” (p.5).

Se puede percibir una ligera variación respecto al consumo energético comparado en los dos primeros años de la gráfica y su posible tendencia en la persistencia de las limitaciones o restricciones de movilidad, restricción en industria, restricción total hacia la asistencia en centros comerciales o diversos puntos de ventas de productos varios.

Para Sánchez (2021) en su análisis sobre el Impacto del Covid-19 en la demanda de energía eléctrica en Latinoamérica y el Caribe es desarrollado por los efectos de la pandemia para el SE, la intención del documento es lograr estimar la variación en la demanda eléctrica para posteriormente poder ser comparada con modelos de años habituales en diferentes países que formaron parte de la muestra de análisis. Donde establecieron como un 15 % el impacto mensual máximo en la demanda eléctrica.

Sánchez (2021) afirma que:

Otros países como Guatemala además tuvieron cambios especialmente en las horas de la mañana y la madrugada mientras que se redujo el consumo durante la tarde. Este tipo de desplazamiento del consumo dentro del día tiene importantes implicaciones para mantener el sistema eléctrico en funcionamiento y de cara a la planificación del uso de la energía renovable por las horas específicas a las que estos generadores tienen a producir. Además, estos cambios no permiten entender mejor los perfiles de demanda tradicionales. Siendo el COVID, un *shock* de comportamiento, esto nos permite discutir sobre el ciclo de demanda tradicional y posibilidades de cambio. (p.14)

Estos informes auspiciados por el Banco Interamericano de Desarrollo y por la Organización Latinoamericana de Energía, demuestran colocar en el mapa como punto de interés a Guatemala, el sector energético fue vulnerable ante las acciones represivas diseñadas para garantizar la salud de la población en general, pero su impacto económico puede preverse a futuro como un mayor impacto que afectará diversos servicios y productos de consumo diario por todos los sectores del país.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Subsector eléctrico de Guatemala

1.1.1. Ente rector

1.1.2. Ente regulador

1.1.3. Ente operador

1.1.4. Participantes del Mercado Mayorista

1.1.4.1. Generador

1.1.4.2. Transportista

1.1.4.3. Distribuidor

1.1.4.4. Comercializador

1.1.4.5. Gran usuario

1.2. Normativas de operación

1.2.1. Administrador del Mercado Mayorista

1.2.2. Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista

- 1.2.3. Normas de coordinación comercial
- 1.2.4. Coordinación de despacho de carga
 - 1.2.4.1. Programación de largo plazo
 - 1.2.4.2. Despacho semanal
 - 1.2.4.3. Despacho diario
- 1.2.5. Precio de oportunidad de la energía
- 1.2.6. Sobrecostos de unidades generadoras forzadas
- 1.3. Parque de generación en Guatemala
 - 1.3.1. Tipos de centrales de generación
 - 1.3.2. Capacidad instalada
 - 1.3.3. Precio de los combustibles
 - 1.3.4. Demanda del mercado eléctrico
 - 1.3.5. Despacho económico
- 1.4. Modelos de mercado
 - 1.4.1. Mercado a término
 - 1.4.2. Mercado de oportunidad

2. METODOLOGÍA

- 2.1. Tipo de estudio
- 2.2. Fases de estudio
 - 2.2.1. Fase uno: revisión documental de la teoría existente y marco teórico
 - 2.2.2. Fase dos: métodos y técnicas de recolección de datos
 - 2.2.3. Fase tres: precios de combustibles.
 - 2.2.4. Fase cuatro: generación forzada.
 - 2.2.5. Fase cinco: precio de oportunidad de la Energía
- 2.3. Resultados esperados

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN
 - 3.1. Variación del consumo energético para Guatemala en el año 2020
 - 3.2. Indicadores de impacto
 - 3.2.1. Indicador semanal de impacto en la carga despachada
 - 3.2.2. Indicador mensual de impacto en la carga despachada

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
 - 4.1. Modelo explicativo de la carga proyectada para el año 2020
 - 4.2. Modelo explicativo para la carga despachada en el año 2020
 - 4.3. Comparación de los valores de la carga proyectada versus la carga despacha para el año 2020

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - 5.1. Verificación de la validez de los indicadores
 - 5.2. Verificación del modelo de carga proyectada para el año 2020
 - 5.3. Verificación del modelo de carga despachada en el año 2020
 - 5.4. Modelo de sensibilización a futuro

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que dentro de lo que se analizará están involucrados datos históricos de generación y despacho de energía y potencia. También se utilizarán costos variables de generación, una lista de mérito que se clasifican por costos variables de generación y eficiencia por cada agente generador.

El alcance del estudio será exploratorio, dado que en la actualidad no se cuenta con estudios sobre el tema y la información que existe es limitada, por lo que se realizará recopilación sobre el consumo energético del año 2020. Se utilizarán datos de un periodo de tiempo específico para poder explorar los efectos del impacto en los precios del POE. Además, también se evaluará que tipo de generación tuvo un mayor factor de planta durante el tiempo analizado.

El diseño adoptado será no experimental, pues en el estudio del impacto de la baja demanda en el Precio de Oportunidad de la Energía se analizará en su estado original sin ninguna manipulación, esto debido a que no se tiene control sobre las variables analizadas porque los hechos ya ocurrieron en un periodo de tiempo anterior a la investigación planteada; además será transversal pues se estudiarán datos recolectados específicos del 2020 y de los primeros meses que fue donde la pandemia tuvo un efecto fuerte en el sector eléctrico debido a lo imprevisto de la situación.

9.2. Unidades de análisis

La unidad de análisis del presente estudio será el Mercado de Oportunidad de la Energía en el sector eléctrico guatemalteco, previo y durante la pandemia del Covid-19, dentro del cual se analizarán la demanda de energía, factor de planta, costos variables de generación y precios de los combustibles.

9.3. Variables

Las variables de interés son las siguientes.

Tabla IV. **Matriz de variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Demanda de energía eléctrica por tipo de tecnología.	Energía eléctrica que se consumió durante un periodo de tiempo.	Se mide en megavatios hora (MWh)
Factor de planta	Cociente entre la energía generada y la energía a plena carga.	Esta relación se mide en porcentaje (%)
Costos variables de generación.	Son los costos que se deben cubrir el funcionamiento de cada tipo de generación.	Se mide en dólares (USD).
Precios de combustibles.	Son los precios del combustible utilizado para la generación de energía no renovable	Se mide en dólares (USD)

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Criterio de clasificación y nivel de medición de cada variable de estudio**

Variable/Criterio	Categoría		Nivel de Medición				
	Numérica	Categoría					
	Dicotómica	Polinómica	Discreta	Continua	Manipulable	Observable	
Demanda de energía eléctrica (MWh).				X		X	Nominal
Factor de planta				X			De razón
Costos variables de generación (USD)				X		X	Nominal
Precios de combustibles (USD)				X		X	Nominal

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

A continuación, se presentan las fases de estudio que se consideran adecuadas para poder describir el proceso, técnicas y actividades que se realizarán en el desarrollo del tema planteado.

9.4.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En la primera fase se realizará una revisión y consulta de todas las fuentes bibliográficas relacionadas al tema que se desarrollará, dentro de las cuales se incluyen artículos científicos, normas, libros, informes y tesis a nivel nacional. Esto con el fin de realizar una fundamentación teórica sólida del estudio de los efectos de la pandemia COVID-19 en el Precio de Oportunidad de la Energía

debido a la baja demanda en Guatemala, esta exploración bibliográfica abarca la sección de antecedentes como los capítulos que se desarrollaron del marco teórico.

9.4.2. Fase 2: Generación de energía

En la segunda fase se utilizará información de la planificación que realiza anualmente el Administrador del Mercado Mayorista de los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 para obtener una base de datos y posteriormente realizar esta comparativa mediante las técnicas de análisis descritas en la sección 10. Y se utilizará la siguiente tabla para comparar los datos.

Tabla VI. **Matriz propuesta para la recolección de datos en la Energía Generada**

Tipo de tecnología	Energía generada (GWH)
Tecnología 1	
Tecnología 2	
Tecnología 3	
Tecnología n+1	

Fuente: elaboración propia.

9.4.3. Fase 3: Factor de planta

La tercera fase se desarrollará con información sobre las variaciones de demanda de energía con datos proporcionados del Administrador del Mercado Mayorista, según el tipo de tecnología empleada para la generación de energía eléctrica. Para calcular el factor de planta se utilizará la herramienta de Microsoft Excel, donde se utilizarán las ecuaciones para realizar el cálculo a manera de

realizar un proceso automatizado. La tabla que se utilizará para dicha información es la siguiente.

Tabla VII. **Matriz de recolección de valores para el factor de planta**

Tipo de tecnología	Capacidad máxima de energía	Energía producida	Factor de planta
Tecnología 1			
Tecnología 2			
Tecnología 3			
Tecnología n+1			

Fuente: elaboración propia.

9.4.4. Fase 4: Precios de los combustibles

De igual forma se obtendrá información de las proyecciones de los precios de los combustibles (petróleo, gas y carbón) durante los años 2016 a 2020, para realizar una comparativa de la variabilidad que presentaron de forma gráfica y será de utilizad para definir si esto afectó directamente los costos variables de generación térmica que necesitan estos tipos de combustibles.

Los precios se publican diariamente por lo cual para fines prácticos se realizará un promedio mensual de los precios y se comparará la tendencia año con año, los datos se tabularán como se muestra a continuación.

Tabla VIII. **Matriz para recolección de datos de los precios para carbón, petróleo y gas**

Año	Precio del carbón	Precio del petróleo	Precio del gas
2016			
2017			
2018			
2019			

Fuente: elaboración propia.

9.4.5. Fase 5: Costos variables de generación

Para la quinta fase se obtendrán los costos variables de generación por planta, esto por medio de la información que se encuentra en la base de datos del Administrador del Mercado Mayorista para el periodo 2020, la herramienta utilizada para poder tabular dicha información será Microsoft Excel. A continuación, se muestra la forma en que se tabulará dicha información para su respectiva manipulación.

Tabla IX. **Matriz de recolección de datos para las plantas energéticas**

Planta	Costos de generación
Planta 1	
Planta 2	
Planta 3	
Planta n+1	

Fuente: elaboración propia.

9.5. Resultados esperados

Para la segunda fase se espera determinar la tendencia en la generación de energía eléctrica por tipo de tecnología, para realizar una comparación de los años 2016 a 2019 gráfica de dichos años respecto al escenario del período 2020 y poder realizar un análisis en las variabilidades que puedan existir.

De igual manera para la tercera fase, se obtendrá el factor de planta por tipo de tecnología con la finalidad de poder analizar los escenarios anteriores a la pandemia y como durante el período 2020 fue un escenario atípico el cual se vio afectado por las restricciones impuestas por el gobierno. Obteniendo información relevante para determinar que generación fue afectada en mayor grado por tal situación.

La cuarta fase nos brindará información sobre las proyecciones en los precios de los combustibles antes de la pandemia y como estos tuvieron variaciones a nivel internacional, afectando directamente a los agentes generadores que utilizan dichos combustibles.

En la última fase, se obtendrán los costos variables de generación por planta, para poder obtener un panorama de la categoría que cada agente generador tendrá al momento de ser solicitado para entrar en operación y la competitividad que tendrán entre ellos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para que se pueda cumplir cada objetivo planteado, correspondiente a una fase distinta del desarrollo de la investigación, es necesario auxiliarse de varias herramientas y técnicas que permitirán tratar y analizar la información recolectada de la manera adecuada para generar las conclusiones idóneas que reflejen lo que se logró con la elaboración del estudio.

De las técnicas a utilizar en este estudio, será de tipo descriptivo ya que se organizará y sintetizará la información recolectada en un determinado período de tiempo con la recolección de las muestras con las tablas VI, VII, VIII y IX diseñadas, se prevé utilizar una muestra finita tomada con base al flujo de la información captada.

Dentro de los análisis que se emplearán, se encuentra el análisis gráfico y análisis con medidas de tendencia central de datos no agrupados. El primero es necesario para la modelación y manejo de los datos recolectados con los cuales se pretenderá mostrar gráficamente las tendencias en cuanto a la energía generada en los períodos ya establecidos, el factor de planta, los precios del carbón, petróleo y gas para el periodo del año 2016 a finales del año 2019, por último, el costo de generación para las plantas eléctricas. El segundo análisis será basado conforme las condiciones físicas, operativas y mecánicas de las generadoras eléctricas.

Ecuación I

Medida de tendencia central

$$\text{Media aritmetica } (x) = \frac{\Sigma x}{n}$$

Donde:

X= promedio

Σx = sumatoria de los datos recolectados

n= número de datos recolectados

Con la ecuación I se podrá evaluar los datos captados a futuro, para un período de doce meses y analizar la tendencia por mes, trimestre y al final el semestre completo. Se emplearán otras técnicas que permitan fortalecer la investigación.

Ecuación II

Medida de desviación estándar

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{\frac{\Sigma x^2}{n}}$$

Donde:

σ = desviación estándar

Σx^2 = suma de las diferencias al cuadrado entre cada dato recolectado y la media

n= número de datos recolectados.

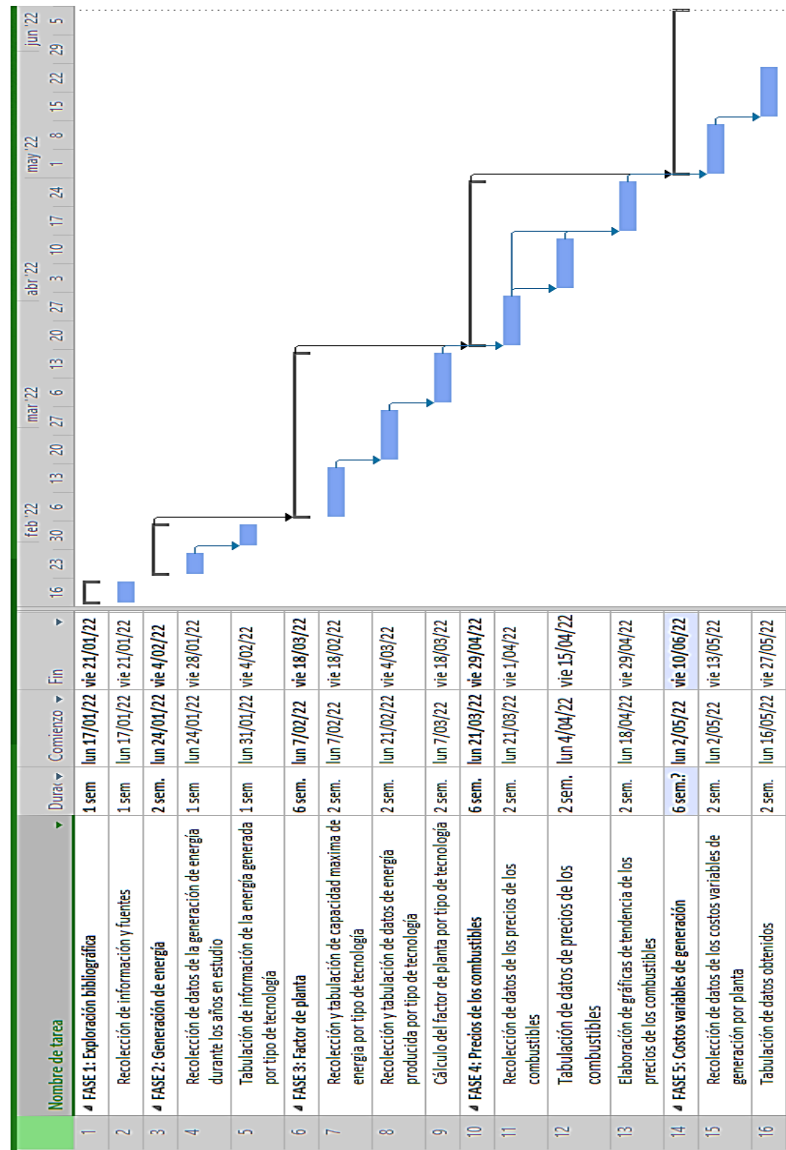
Con la ecuación II será utilizada para analizar la dispersión de nuestros datos y así poder establecer un nivel de confiabilidad de los mismos derivados de la variabilidad que puedan presentar.

Otras herramientas a emplear para el análisis de datos:

- Análisis estratégico FODA del mercado energético de Guatemala.
- Diagrama Ishikawa para evaluar diferentes causas del covid-19.
- Comportamiento estadístico de los diferentes informes energéticos del sector público y privado.

11. CRONOGRAMA

Figura 8. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

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

Tabla X. **Recursos necesarios para realizar la investigación**

Recurso	ITEM	Total
Recurso humano	Investigador	Q 8 000.00
Recurso humano	Asesor	Q 2 500.00
Recursos materiales	Papelería y útiles	Q 2 000.00
Transporte	Vehículo y combustible	Q 2 000.00
Recursos tecnológicos	Dispositivos electrónicos e internet	Q 3 500.00
Equipo	Computadora	Q 4 500.00
Total		Q 22 500.00

Fuente: elaboración propia.

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

REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista (2020). *Mercado eléctrico de Guatemala y posibilidades de inversión*. Guatemala: AMM. Recuperado de: [https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=610Gu%C3%ADa%20para%20inversiones%20mercado%20el%C3%A9ctrico%20de%20Guatemala%20-VF-\[4\]%20.pdf](https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=610Gu%C3%ADa%20para%20inversiones%20mercado%20el%C3%A9ctrico%20de%20Guatemala%20-VF-[4]%20.pdf).
2. Díez, C. (2016). *Proyección de Precios de Energía Eléctrica de Mediano Plazo en el Mercado Colombiano Mediante la Aplicación del Índice de Lerner*. (Tesis de Maestría). Universidad EAFIT. Colombia.
3. Escobar, J. (2013). *Análisis del marco regulatorio del subsector eléctrico de Guatemala en su aplicación a una central hidroeléctrica de bombeo*. (Tesis de licenciatura). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0837_EA.pdf.
4. Felipe, B. (2016). 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. (Tesis de Licenciatura). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5724/1/Byron%20Alberto%20Felipe%20Ajuch%C3%A1n.pdf>.

5. García, F. (2020) *Análisis de los impactos de la pandemia del COVID-19 sobre el sector energético de América Latina y el Caribe*. Ecuador: Organización Latinoamericana de Energía.
6. Gómez, N. (Agosto de 2016). Mercado de oportunidad de la energía en Guatemala: un modelo teórico. *Revista ECO*, 14, 71-87. Recuperado de http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/ECO/Numeros/15/06/06_ECO15.pdf.
7. Leal, E. (2005). *Despacho económico de carga considerando restricciones en la red de transporte con el uso de técnicas de programación lineal*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0122_ME.pdf.
8. Ley General de Electricidad (2013). *Ley General de Electricidad. Ley General de Electricidad. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala*. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marcoegal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>.
9. Luna, P. (2014). Marco Jurídico de la generación distribuida renovable en Guatemala, Chile, Costa Rica y México como otra alternativa de generación de energía eléctrica. (Tesis de Licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2014/07/01/Luna-Pedro.pdf>.
10. 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 San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15713/1/Victor%20Hugo%20Lut%C3%ADn%20Sandoval.pdf>.

11. Norma de Coordinación Comercial No. 4. (2021). *Precio de Oportunidad de la Energía. Resolución 157-02*. Administrador del Mercado Mayorista, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc04.pdf>.
12. Norma de Coordinación Comercial No.1. (2020). *Norma de Coordinación Comercial No.1 Coordinación de despacho de carga. Resolución 157-01*. Administrador del Mercado Mayorista, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc01.pdf>.
13. Norma de Coordinación Comercial No.13. (2019). *Norma de Coordinación Comercial No. 13 mercado a Término. Resolución 157-10*. Administrador del Mercado Mayorista, Guatemala. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/pdf/normas/ncc13.pdf>.
14. Ortega, S. (2021). Escenarios Energéticos para Colombia en el Marco del Covid-19. Colombia: Universidad EIA.
15. Penagos, M. (2016). Procedimiento adecuado para la normalización de la carga y explotación de red, en caso de un colapso en el sistema nacional, interconectado para las empresas DEORSA-DEOCSA. (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0613_EA.pdf.

16. Pizarro, A. (2021). *Impacto de COVID-19 sobre el consumo eléctrico de las PYMES de la Zona Metropolitana de Aguascalientes*. (tesis de maestría). Centro de Investigación y Docencia Económicas, México
Recuperado de: <http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/4475>.
17. Rojas, J. (2016). Evaluación de las implicaciones del nuevo marco regulatorio del mercado eléctrico en la región centroamericana, en el caso del mercado eléctrico de Guatemala, para las transacciones de electricidad hacia la región centroamericana. (Tesis de Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_5410.pdf.
18. Rodríguez, V. (2020). *Seguridad energética Análisis y Evaluación del Caso de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
19. Sánchez, L. (2012). Implementación del curso de mercado eléctrico guatemalteco en el pènsuam de estudios del estudiante de la carrera de ingeniería eléctrica de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Ingeniero electricista. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
Recuperado de 2021, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0790_EA.pdf.
20. Sikora, I., Campos, J. y Bustos, J. (2017). Determinantes del precio spot eléctrico en el sistema interconectado central de Chile. *Revista de Análisis Económico*, 32(2), 3–38.

21. Sontay, D. (2011). *Optimización del despacho hidrotérmico estocástico del SNI para un estudio de largo plazo*. (Tesis de Licenciatura). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0767_EA.pdf.

22. Villalobos, J. (2018). El rol del Administrador del Mercado Mayorista en la evolución del mercado de generación de energía eléctrica en Guatemala de 1996 a 2016. (Tesis de Licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/01/01/Villalobos-Jose.pdf>.

APÉNDICES

Se presentan los aportes desarrollados en clase.

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Matriz de coherencia**

MATRIZ DE COHERENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	METODOLOGÍA	RESULTADOS ESPERADOS
DESCONOCIMIENTO DEL IMPACTO DEBIDO A LA BAJA DEMANDA EN EL PRECIO DE OPORTUNIDAD DE LA ENERGIA (POE) DERIVADO DE LAS RESTRICCIÓNES Y CONFINAMIENTO POR EL COVID-19 EN GUATEMALA.	Principal: ¿Cuál es el impacto en el precio de oportunidad de energía derivado de las restricciones y baja demanda por la pandemia covid-19 en Guatemala?	General: Determinar el impacto que se tuvo en el precio de oportunidad de energía derivado de las restricciones y baja demanda por la pandemia COVID-19 en Guatemala.	Enfoque: Cuantitativo Alcance: Exploratorio Diseño: No experimental Fase 1: Exploración bibliográfica	1. Tendencia en la generación de energía eléctrica 2. Factor de planta por tipo de tecnología
	Específicos: ¿Cómo fue el escenario de despacho de carga proyectada y la variación respecto al despacho de carga real debido a la variabilidad de las restricciones por la pandemia covid-19 durante el año 2020?	Específicos: Comparar el escenario de despacho de carga proyectada y cómo fue su comportamiento respecto a la demanda real por la variabilidad de las restricciones por la pandemia covid-19 durante el año 2020.	Fase 2: Datos de generación de energía Fase 3: Factor de planta Fase 4: Precios de los combustibles Fase 5: Costos variables de generación	3. Proyecciones y variaciones en los precios de los combustibles 4. Costos variables de generación por planta.
	¿Qué tipo de tecnología tuvo mayor factor de planta durante el año 2020 debido a las variaciones en la demanda de energía?	Determinar qué tipo de tecnología tuvo mayor factor de planta durante el año 2020 debido a las variaciones en la demanda de energía.		
	¿Cuál fue el impacto económico en los agentes generadores debido a los efectos del COVID-19 en Guatemala?	Determinar el impacto económico en los agentes generadores debido a los efectos del COVID-19 en Guatemala.		

Fuente: elaboración propia.