



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

**VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL
MÚLTIPLE**

Lic. Nelson Humberto González Samayoa

Asesorado por Mtro. Antonio Daniel Asencio Marroquín

Guatemala, enero 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL
MÚLTIPLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

LIC. NELSON HUMBERTO GONZÁLEZ SAMAYOA

ASESORADO POR MTRO. ANTONIO DANIEL ASECIO MARROQUÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, ENERO 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TESIS

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
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:

VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 12 de enero de 2022.

Lic. Nelson Humberto González Samayoa

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

LNG.DECANATO.OI.012.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE**, presentado por: **Lic. Nelson Humberto González Samayoa**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, enero de 2024

JFGR/gaoc



Guatemala, enero de 2024

LNG.EEP.OI.012.2024

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

“VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE”

presentado por **Lic. Nelson Humberto González Samayoa** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


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





Guatemala, 2 de junio de 2023

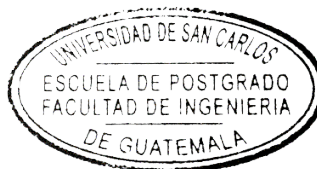
M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.** del estudiante **Nelson Humberto González Samayoa** quien se identifica con número de carné **201215109** del programa de Maestria En Energía Y Ambiente .

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

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



Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Maestria En Energía Y Ambiente
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual



Guatemala, 2 de junio de 2023

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"VARIACIÓN DE LOS PRECIOS DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL MERCADO DE OPORTUNIDAD, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE."** del estudiante **Nelson Humberto González Samayoa** del programa de **Maestría En Energía Y Ambiente** identificado(a) con número de carné 201215109.

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



Antonio Daniel Asencio Marroquín
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 10560

Mtro. Ing. Antonio Daniel Asencio Marroquín

Colegiado No. 10560

Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y a la vida	Por todas las oportunidades que se me han concedido a lo largo de los años.
Mis padres	Carlos Humberto González y Marina Elizabeth Samayoa de González.
Mis hermanas	Karla y Gleysi González Samayoa.
Mis primas	Blanca y Kimberly Castro Ejcalón.
Mi abuela	Margarita Felipe.
Mis amigos	Jennifer Carias, Jorge Martínez, Giovanni Valdez, Leslie Arana, Leslie Barrios, Danny García, Ana Juárez, Alexander Corrales, Fabiola Herrera, José Castillo, Fernando Ortiz, Mario Xinico, Luis Cristianni, Rafael Mora, Alberto Castillo, Cindy Mérida, Eduardo Tejada, Eduardo Jagan, Paulo Garrido, Hilene Recinos, Brian Bian, Grecia Chávez, Stefani Villeda, Kenny Eguizábal, Nery Castillo, entre otros.
Mentores	Hazm Shalabi, Yesika Estrada, Darwin Rodas, Giovanni Pineda, Víctor Flores, Ismael López, Fátima García, José Monzón y Antonio Asencio.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi Alma Mater y contribuir con mi formación profesional y personal.
Ingeniero	Antonio Daniel Asencio Marroquín.
Pueblo de Guatemala	Por haber financiado mi formación académica desde el grado de preprimaria hasta la fecha.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Descripción del problema	5
2.2. Formulación del problema	6
2.3. Pregunta central	7
2.4. Preguntas auxiliares	7
2.5. Delimitación del problema	8
3. OBJETIVOS	9
3.1. General.....	9
3.2. Específicos	9
4. RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	11
4.1. Características del estudio	11
4.1.1. Unidad de análisis	12
4.2. Variables de interés	12
4.2.1. Variable dependiente	12
4.2.2. Variables independientes	13
4.3. Población.....	14

4.4.	Fases de la investigación	15
4.4.1.	Fase I: estadística descriptiva del precio <i>spot</i>	15
4.4.2.	Fase II: revisión de series de datos sobre la generación de energía eléctrica en Guatemala..	15
4.4.3.	Fase III: revisión de series de datos de precios.....	16
4.4.4.	Fase IV: revisión de series de datos sobre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco	16
4.4.5.	Fase V: estadística inferencial y evaluación de supuestos del modelo.....	16
4.4.6.	Fase VI: redacción del informe final.....	17
5.	MARCO REFERENCIAL	19
6.	MARCO TEÓRICO.....	31
6.1.	Generación de energía eléctrica en Guatemala	31
6.1.1.	Marco institucional	31
6.1.2.	Subsector eléctrico	32
6.2.	Panorama general de la generación de energía eléctrica	35
6.3.	Matriz de generación de energía eléctrica en el territorio guatemalteco	36
6.4.	Generación de energía eléctrica por tipo de recurso	37
6.5.	Precios internacionales de los combustibles fósiles	39
6.5.1.	Precio internacional del carbón.....	40
6.5.2.	Precio internacional del petróleo.....	42
6.5.3.	Panorama internacional	43
6.6.	Otros indicadores relacionados con la generación de energía eléctrica	45
6.6.1.	Tipo de cambio	45

6.6.2.	Inflación	46
6.6.3.	Régimen de lluvias	46
6.7.	Análisis de regresión lineal múltiple.....	48
7.	RESULTADOS	51
7.1.	Introducción a los resultados obtenidos.....	51
7.2.	Objetivo I	53
7.3.	Objetivo II	56
7.4.	Objetivo III	62
7.5.	Objetivo general	65
7.5.1.	Estadística inferencial.....	65
7.5.2.	Evaluación de supuestos del modelo estadístico ...	79
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
8.1.	Análisis interno	85
8.2.	Análisis externo	96
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	REFERENCIAS	105
	APÉNDICES	109
	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Precio <i>spot</i> del Mercado de Oportunidad US\$ por MWh	34
Figura 2.	Precio del carbón en US\$ por tonelada métrica	41
Figura 3.	Precio del petróleo en US\$ por barril	42
Figura 4.	Análisis cronológico del nivel de lluvias en Guatemala, milímetros.....	47
Figura 5.	Cajas de <i>Box-Plot</i> , precio <i>spot</i>	52
Figura 6.	Precio del petróleo, comparación de tasas de variación.....	58
Figura 7.	Precio del carbón, comparación de tasas de variación.....	59
Figura 8.	Tipo de cambio, dólares de Estados Unidos de América por unidad de quetzal	60
Figura 9.	Ritmo inflacionario	61
Figura 10.	Intervalo de confianza aproximado, escenario inicial.....	70
Figura 11.	Intervalo de confianza aproximado, escenario final	77
Figura 12.	<i>Q-Q Plot</i>	80
Figura 13.	Residuos y predichos.....	81
Figura 14.	Residuos estandarizados.....	83
Figura 15.	Comportamiento del precio <i>spot</i>	86
Figura 16.	Comportamiento del precio <i>spot</i> , escenarios.....	91
Figura 17.	Variación anual del precio <i>spot</i>	94
Figura 18.	Relación de indicador del precio <i>spot</i>	95

TABLAS

Tabla 1.	Operativización de variables.....	14
Tabla 2.	Composición de la matriz de electricidad de Guatemala, 2021 ...	37
Tabla 3.	Generación de energía eléctrica por tipo de recurso, 2013 al 2021.....	38
Tabla 4.	Generación de energía eléctrica por tipo de recurso, 2013 al 2021.....	39
Tabla 5.	Relación entre la generación de electricidad y el recurso hidráulico.....	63
Tabla 6.	Criterios para evaluar.....	64
Tabla 7.	Matriz de correlación, escenario inicial	66
Tabla 8.	Análisis de la varianza (ANOVA), escenario inicial	68
Tabla 9.	Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenario inicial	71
Tabla 10.	Escenarios alternos rezagando los precios de los combustibles fósiles.....	73
Tabla 11.	Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenarios alternos.....	74
Tabla 12.	Matriz de correlación, escenario final	75
Tabla 13.	Análisis de la varianza (ANOVA), escenario final	76
Tabla 14.	Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenario final.....	78
Tabla 15.	Expectativas de comportamiento para 2022, variaciones porcentuales (%).....	88
Tabla 16.	Datos observados.....	90
Tabla 17.	Precio y variación del precio <i>spot</i> , promedio de enero a agosto del año 2022.....	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CO ₂	Dióxido de carbono
\$	Dólar de los Estados Unidos de América
MW	Megavatio
mm	Milímetros
%	Porcentaje
Q	Quetzal

GLOSARIO

Electricidad	Fuerza que se manifiesta por la atracción o repulsión entre partículas cargadas, originada por la existencia de electrones y protones. La generación de energía eléctrica puede clasificarse en renovable y no renovable, de acuerdo con el recurso o fuente energética empleada en el proceso de generación.
Empalme	Técnica utilizada para unificar dos o más fuentes de información cuantitativa en una serie de tiempo, a través del análisis de la correlación de las tasas de variación o niveles.
Energía	Capacidad que tiene un sistema para realizar un trabajo, en la práctica se mide en julios.
Estructura de costos	Conjunto de insumos (bienes y servicios) que se emplean en un proceso productivo.
Inflación	Alza generalizada en el nivel de los precios de los bienes y servicios.
Mercado <i>spot</i>	Subsector eléctrico, es el lugar donde se efectúan transacciones de compra/venta en el corto plazo de bloques de electricidad, caracterizado por la omisión de contratos a término.

Precio	Valor monetario estimado para los bienes y servicios.
Precio de oportunidad	En el subsector eléctrico, el precio <i>spot</i> es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora, o en el período que defina la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), establecido por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), como resultado del despacho.
Relación de indicador	Cociente entre el indicador construido respecto del dato observado, con el fin de establecer cuanto representa la estimación en relación con el dato real.
Subasta inversa	Mecanismo en donde se convocan las centrales de generación de electricidad de menor costo hacia las de mayor, con el fin de minimizar el costo operativo total.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue identificar los factores que explican la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad del territorio guatemalteco, con el fin de establecer las variables que inciden en su comportamiento.

El objetivo general del estudio fue determinar la variación de los precios spot, a través del análisis de regresión lineal múltiple.

El problema de la investigación responde a la necesidad de crear nuevo conocimiento sobre una variable con escasa literatura, en contraste con los efectos de orden económico y social en los que puede incidir.

El estudio se realizó empleando principalmente, un enfoque cuantitativo, donde se analizaron variables continuas, asimismo se construyó una variable dicotómica. “Las variables dicótomas con valores de 1 y 0 (o sus transformaciones lineales) son un medio de introducir regresoras cualitativas en el análisis de regresión” (Gujarati, 2010, pág. 304). El diseño fue experimental, donde se utilizó un método estadístico de tipo hipotético-inductivo, de tipo explicativo derivado del empleo de estadística inferencial. El alcance fue de tipo correlacional.

En cuanto a los resultados favorables obtenidos luego de evaluar los supuestos del modelo estadístico, se aprobó la ecuación determinada, la cual logró explicar cerca del 80 % de las variaciones.

Se determinó un R^2 de 0.80 (coeficiente de correlación de Pearson), que sugiere que el modelo cuenta con una correlación positiva alta. Asimismo, se realizó la evaluación de los supuestos del modelo, obteniendo resultados favorables, concluyendo que este es apto para inferencia estadística.

Finalmente, se resalta la relevancia del juicio de experto dentro del desarrollo investigativo, en función a que los modelos probabilísticos por sí mismos han demostrado cierto grado de debilidad ante escenarios imprevistos.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación realizada responde a una sistematización de información sobre los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado *spot* del territorio guatemalteco, con el afán de determinar las variables que explican su comportamiento. Para ello, se identificaron variables explicativas o regresoras, para luego ordenar, estratificar, evaluar y analizar estas, estableciendo la relación que guardan con la variable estudiada.

El precio de oportunidad o *spot* es una variable con una alta importancia para el entorno económico y social del país, derivado que sus variaciones pueden incidir en cambios de las estructuras de costos de las diferentes actividades económicas, en relación a su papel como factor productivo en los procesos de elaboración de bienes y prestación de servicios, para luego impactar en los precios de estos, con propensión a generar tensión en la fluctuación de la inflación general, para finalmente impactar en el ingreso de los hogares. Por lo tanto, es indispensable realizar esfuerzos en la generación de nuevo conocimiento respecto a la materia, con el fin de entender de manera amplia los eslabones de su composición.

El desarrollo de la presente investigación es importante en función a la generación de nuevo conocimiento respecto de una variable que se encuentra en constante cambio, caracterizada por su complejidad y escaso conocimiento académico sobre la misma. Desde un enfoque económico, la Maestría en Energía y Ambiente tiene una estrecha relación con los diferentes procesos productivos, derivado del empleo de la energía como un insumo/factor en las distintas ramas económicas (de acuerdo con la Matriz Insumo-Producto año de

referencia 2013 divulgada por el Banco de Guatemala, el Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado se encuentra presente prácticamente en todas las actividades económicas del país), generando a su vez externalidades hacia el medio ambiente.

La investigación pretende desarrollar un modelo de regresión lineal múltiple, que contribuya con el pronóstico de los precios de la energía eléctrica en el mercado de oportunidad, en donde se podrán establecer los supuestos de cada escenario a proyectar, calibrando los parámetros del modelo de acuerdo con las expectativas futuras esperadas, asimismo, contribuir con la elaboración de un estudio académico que coadyuvará con la generación de nuevo conocimiento de una variable poco estudiada dentro del país, que beneficiará a la sociedad guatemalteca, investigadores del subsector eléctrico, así como a potenciales inversionistas que estén interesados en conocer las variables que dictan el comportamiento de los precios de la energía eléctrica.

El subsector eléctrico del país ha presentado cambios importantes a partir de la creación de la Ley General de Electricidad en el año de 1996, en la última década se han realizado esfuerzos por impulsar cambios en la matriz de generación eléctrica, por lo que es pertinente estudiar y evaluar los resultados relacionados con el proceso de diversificación, así como su incidencia en los precios de la generación de energía. La investigación pretende establecer las variables que explican el comportamiento de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad. El estudio tiene validez técnica derivado del uso de la estadística descriptiva e inferencial como métodos de análisis, así como un alto grado de factibilidad por la disponibilidad de información para elaborar el modelo correlacional.

El primer capítulo desarrolla el marco referencial de la investigación, en donde describen los antecedentes que otros países con relación a la materia estudiada.

El segundo capítulo detalla los aspectos sobre la generación de energía eléctrica en el país, el panorama general, la composición de la matriz de generación de energía eléctrica, así como la segmentación por tipo de recurso utilizado en el proceso productivo, precios internaciones de los combustibles fósiles, finalmente, otros indicadores relacionados a la generación de electricidad.

El tercer capítulo describe los resultados obtenidos en la investigación efectuada.

El cuarto capítulo condensa lo discusión de resultados desagregado por análisis interno y externo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

El precio de oportunidad o *spot* de la energía eléctrica es una variable con escasa investigación dentro del territorio guatemalteco, asociando elementos que se encuentran directamente relacionados con este, se puede intuir que el mismo está influenciado por diversos factores como: el precio internacional de los combustibles fósiles, la estructura de la matriz de generación eléctrica (ver composición de la matriz de generación de electricidad en la tabla 2), la composición de la capacidad instalada del parque de generación, y la estacionalidad de las lluvias, entre otros.

Con base en los registros del Administrador del Mercado Mayorista (AMM), se observó que entre los años 2014 a 2017, el precio de la energía eléctrica en el mercado de oportunidad reportó una caída promedio de 18.4 %. En estos años, hubo eventos coyunturales que pueden estar relacionados con su comportamiento: la incorporación de nuevas fuentes de generación de energía renovable en el país (solar, eólico, biogás); presencia del fenómeno de la niña en los años 2013, 2014 y 2017, factor que favoreció la generación con recursos hídricos, que impactó el costo operativo del mercado mayorista, reduciéndolo; así como una reducción en los precios internacionales de los combustibles fósiles.

Entre 2018 y 2019, el precio se incrementó en promedio 11.4 %, para caer nuevamente 35.0 % en 2020.

La variación en los precios de la generación de energía eléctrica puede ocasionar cambios en las estructuras de costos de las diferentes actividades económicas, derivado que es un factor indispensable en cada uno de los procesos productivos para la elaboración de bienes y servicios, luego reflejarse en el alza de los precios, provocando una mayor incidencia en la fluctuación de la inflación, para finalmente impactar en el ingreso de los hogares.

Asimismo, puede influir en el incremento del pliego tarifario del suministro de electricidad, derivado del alza del costo operativo del mercado mayorista, así como la competitividad del país en el Mercado Eléctrico Regional, derivado de precios menos atractivos para exportación.

Por lo tanto, su estudio es necesario e indispensable para el desarrollo de modelos correlacionales que contribuyan con la predicción de su comportamiento, así como determinar las variables que inciden en su conducta. En este sentido, es importante que el país cuente con un mayor número de estudios académicos sobre la variación de los precios de la generación de energía eléctrica, así como herramientas estadísticas que faciliten su entendimiento y pronóstico, ante expectativas de fluctuación, para encontrar soluciones que contrarresten y minimicen los efectos probables dentro del territorio guatemalteco.

2.2. Formulación del problema

A continuación, se describe la pregunta central y las específicas del problema sujeto a investigación.

2.3. Pregunta central

¿Cómo se explica la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad?

2.4. Preguntas auxiliares

¿Cuál es la relación que existe entre la composición de la matriz de generación eléctrica, principalmente, la asociada a fuentes renovables y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad?

¿Cuál es la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio e inflación, respecto a la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad?

¿Cuál es la relación que existe entre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad?

2.5. Delimitación del problema

Conforme al Reglamento del AMM, el precio de oportunidad de la energía eléctrica o precio *spot* es equivalente al valor del costo marginal de corto plazo de la energía medido en un período de tiempo. Esta variable se encuentra asociada al mercado de oportunidad, en donde se realizan transacciones de compra y venta de energía en el corto plazo y se caracteriza por la omisión de contratos a término. (Secretaría General de la Presidencia, 1997)

La investigación se centra en el estudio de la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad de Guatemala, en donde se efectúan operaciones para transar bloques de energía sin la necesidad de elaborar contratos. Este precio cobra relevancia, derivado que es utilizado como referencia para los mercados a término de energía, además, esta variable es de acceso público, por lo tanto, puede ser monitoreada de una forma más exhaustiva, lo que permitiría su comprensión.

Asimismo, la volatilidad del precio del mercado de oportunidad puede ocasionar impactos en la estructura de costos de las diferentes actividades económicas del país, incidir en cambios de la inflación, ingreso de los hogares, así como en la competitividad a nivel regional, en relación con las exportaciones de energía eléctrica.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Determinar la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad, a través del análisis de regresión lineal múltiple.

3.2. Específicos

1. Establecer la relación que existe entre la composición de la matriz de generación eléctrica, principalmente, la asociada a fuentes renovables y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.
2. Evaluar la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio e inflación, respecto a la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.
3. Identificar la relación que existe entre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.

4. RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se describe la metodología que se utilizó para la elaboración de la investigación.

4.1. Características del estudio

El enfoque del estudio comprende el análisis de variables, principalmente cuantitativas y en menor proporción cualitativas. Las variables cuantitativas que se utilizaron en la investigación son continuas, en relación con su escala de medición que se compone de números decimales (precios, megavatios hora, tipo de cambio e inflación). Por su parte, se empleó una categoría dicotómica en donde se pretendió establecer si existe una correlación significativa entre el régimen de lluvias respecto del comportamiento de la variable analizada.

El diseño de la investigación es experimental, dado que se pretendió analizar la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad a través del comportamiento de otras variables que se encuentran relacionadas con este.

El método de investigación utilizado fue estadístico de tipo hipotético-inductivo, debido que para el estudio se emplearon las consecuencias del problema objeto de estudio como variables explicativas, debido a la incidencia particular que cada una ejerce en este. Asimismo, también fue de medición en relación con el empleo de información numérica para establecer la incidencia y el nivel de correlación entre las variables independientes seleccionadas respecto del fenómeno estudiado.

El tipo de investigación fue descriptivo correlacional, en función del estudio de variables que se encuentran estrechamente relacionadas con el comportamiento de los precios de la generación en el mercado de oportunidad de Guatemala, que además se consideran como elementos necesarios en su conducta.

El alcance de la investigación fue de tipo longitudinal, derivado del análisis de series de tiempo.

4.1.1 Unidad de análisis

La investigación se centra en realizar un estudio sobre los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad de Guatemala, con el fin de establecer las variables que inciden en su comportamiento (variación).

Se utilizaron series históricas de datos con frecuencia mensual, para luego elaborar el análisis de cada una de ellas y determinar si es viable su incorporación dentro del modelo estadístico.

4.2. Variables de interés

A continuación, se presenta la variable dependiente e independientes que fueron sujeto de análisis en la investigación.

4.2.1 Variable dependiente

La investigación se centra en el estudio de la variación de los precios de la energía eléctrica dentro del mercado de oportunidad del territorio guatemalteco, definido como precio de oportunidad de la energía eléctrica o

precio *spot*, que corresponde al valor del costo marginal de corto plazo en cada hora, o en el período que defina la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), establecido por el AMM, como resultado del despacho.

4.2.2 Variables independientes

Para la selección de las variables regresoras se consideraron aquellas que de manera general e intuitiva se tiene el conocimiento que de alguna forma participan en la determinación del precio *spot*. A continuación, se desagregan las variables:

- Precios internacionales de los combustibles fósiles (carbón y petróleo).
- Tipo de cambio.
- Inflación (Índice de Precios al Consumidor IPC).
- Composición de la matriz de generación de energía eléctrica (generación de electricidad con recursos renovables y no renovables).
- Categorización del régimen de lluvias.

A continuación, se muestra la matriz de operacionalización de las variables.

Tabla 1.*Operativización de variables*

Tipo de variable	Descripción de la variable	Dimensional
Variable dependiente	Precio <i>spot</i> o de oportunidad	Dólares por MWh
Variables independientes	Generación de energía eléctrica con recursos renovables	MWh
	Precio internacional del carbón	Dólares por tonelada métrica
	Precio internacional del petróleo crudo	Dólares por barril
	Tipo de cambio	Quetzales por cada dólar
	Inflación	Índice (IPC)
	Categorización del régimen de lluvias	Dummy, a partir del análisis y categorización de los milímetros hora (mm/h)

Nota. Elaboración propia.

La tabla anterior detalla la categorización de cada una de las variables seleccionadas dentro de la investigación, así como las dimensiones de cada una de ellas.

4.3. Población

Se estudiaron los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad (precio *spot*), para lo cual se analizó y evaluó una serie de datos en frecuencia mensual para los años 2013 al 2021.

4.4. Fases de la investigación

La investigación se desarrolló siguiendo una serie de fases que contribuyeron con el cumplimiento del objetivo general y específicos.

A continuación, se presentan las fases llevadas a cabo dentro de la investigación.

4.4.1 Fase I: estadística descriptiva del precio spot

La primera fase contempló la búsqueda, revisión, orden, análisis y consistencia de información histórica sobre los precios *spot* del mercado de oportunidad de la energía eléctrica, con el objetivo de realizar un diagnóstico general sobre la variable de análisis. Asimismo, se analizaron las medidas de tendencia central, distribución y forma, a través del empleo de la estadística descriptiva.

4.4.2 Fase II: revisión de series de datos sobre la generación de energía eléctrica en Guatemala

En la segunda fase se realizó la búsqueda, revisión, orden, análisis y consistencia de información histórica sobre la generación de energía eléctrica en Guatemala. Asimismo, se efectuó una segmentación de la generación por tipo de recurso (renovable y no renovable), de tal forma que se pudiera determinar la composición de la matriz de generación de energía eléctrica del país.

4.4.3 Fase III: revisión de series de datos de precios

La tercera fase contempló la búsqueda, revisión, orden, análisis y consistencia de información histórica sobre los precios internacionales del carbón, precios internacionales del petróleo, tipo de cambio de referencia de dólares de Estados Unidos de América respecto del quetzal guatemalteco, así como las cifras de inflación de Guatemala.

4.4.4 Fase IV: revisión de series de datos sobre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco

En la cuarta fase se procedió a realizar la búsqueda, revisión, orden, análisis y consistencia de información histórica sobre el régimen de lluvias dentro del territorio guatemalteco. El fin fue obtener una serie mensual de todas las estaciones meteorológicas existentes para obtener el universo de los registros, para luego tipificar con relación a los niveles medianos observados, la existencia de qué tipo de mes se presentó en cada período analizado (normal, seco, muy seco, lluvioso o muy lluvioso), para elaborar una categoría dicotómica que estableciera la influencia del tiempo dentro del modelo estadístico.

4.4.5 Fase V: estadística inferencial y evaluación de supuestos del modelo

La quinta fase contempló la elaboración de un análisis de regresión lineal múltiple, con el objetivo de establecer el modelo que explique la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad del país, utilizando diversas variables explicativas. Por su parte, se realizó la comprobación de todos los supuestos estadísticos que contribuyeron con la

aprobación del modelo, para establecer si el mismo es apto para realizar inferencia estadística.

4.4.6 Fase VI: redacción del informe final

La sexta fase consistió en la redacción del presente informe final de investigación.

5. MARCO REFERENCIAL

El precio de la generación de energía eléctrica es una variable poco estudiada en el territorio guatemalteco, sus fluctuaciones pueden ocasionar impactos dentro de las estructuras de costos de los diferentes sectores económicos, lo cual incide en el precio de los bienes y servicios, trasladando el efecto hacia el ingreso de los hogares, así mismo, también puede afectar la competitividad del territorio dentro del mercado regional.

En Latinoamérica, algunos países han mostrado avances en el desarrollo de nuevo conocimiento respecto de los precios de la generación de energía eléctrica. A través del tiempo, principalmente en las últimas décadas, el sector eléctrico colombiano ha sufrido cambios estructurales en el modelo de organización, asimismo, el rol del Estado dentro de la cadena productiva del servicio de suministro de electricidad, de acuerdo con lo indicado por Bello y Beltrán (2010) en el estudio *Caracterización y Pronóstico del Precio Spot de la Energía Eléctrica en Colombia*. Los cambios han generado impactos fluctuantes en los precios de la energía, principalmente, en la Bolsa de Energía.

Luego de efectuar un análisis sobre la transición histórica del subsector eléctrico en dicho país, se estableció la necesidad de elaborar investigaciones que promovieran herramientas para la estimación del comportamiento futuro de los precios de la energía, con el objetivo de evaluar los probables escenarios, así como contribuir con estrategias de minimización de costos, además, prever soluciones relacionadas con los riesgos de inversión, así como garantizar la generación de utilidades de los agentes que participan dentro del mercado eléctrico.

Asimismo, realizaron una revisión de las distintas metodologías y modelos econométricos sobre diferentes mercados que son aplicables al eléctrico. El modelo de Green y Newberry fue aplicado en el año de 1992, luego de la aprobación de la Ley de Electricidad Británica (1989), el cual consiste en demostrar que el funcionamiento del mercado eléctrico se ajusta a la función de oferta, en donde los generadores maximizan sus utilidades en ausencia de un ente regulador (altos costos en horarios en punta y pérdidas en valle). El modelo de Andrew Powell (1993) explica que la privatización en Inglaterra no cumplió con las expectativas planteadas, indicando que un mercado bajo las características de un oligopolio es más rentable en precios al orientarse en un Mercado de Opciones Futuras (MOF).

Por su parte, el modelo de Nelson es utilizado para estimar el precio de las acciones, activos, y otros que se caractericen por presentar altas volatilidades; es autorregresivo de primer orden, en donde la varianza es un elemento condicional que puede variar en el transcurso del tiempo. El modelo de Glosten, Jagannathan y Runkle se encuentra estructurado a partir del Garch, el cual se diferencia por contemplar una variable que representa los choques exógenos que inciden en los cambios volátiles de los precios.

Los resultados del modelo realizado en Colombia (Modelo Autorregresivo Integrado de Media Móvil -ARIMA- y de Varianza), demostraron que ante cualquier cambio en alguna de las variables explicativas (estacionalidad de lluvias, terrorismo, regulaciones, demanda y oferta programada, demanda del sistema nacional interconectado, entre otras), existe una alta volatilidad en los precios de la generación de energía eléctrica, que puede incidir en las utilidades de los productores de energía eléctrica, así como en las expectativas de nuevos inversionistas.

En Guatemala, se inició con un proceso similar de cambios estructurales en el subsector eléctrico cercano a la misma línea de tiempo en el cual se suscitó en Inglaterra (1996), por ahora se maneja a través de diferentes mercados entre los que destacan: el *spot*, a término, desvío de potencia, servicios complementarios, entre otros, que ha favorecido a la solidez y competitividad del mercado eléctrico del país. Asimismo, al igual que Colombia, el territorio guatemalteco se encuentra expuesto a fluctuaciones en los precios del mercado de oportunidad de energía eléctrica, derivado de los efectos por el cambio en la estacionalidad y frecuencia de las lluvias, factor que impacta la generación con recursos renovables del país y reestructura la matriz de generación eléctrica.

Este estudio suministró información sobre la manera en la que se han ido reestructurando los mercados eléctricos en otros países, así como la construcción de una línea de tiempo de este, por su parte, se identificaron los factores que fueron analizados por este país; en relación a la necesidad de realizar esfuerzos por efectuar más investigaciones sobre los precios de la electricidad, derivado de su importancia dentro de la economía desde un enfoque de inversión pública-privada, así como por los beneficios de la minimización de costos de producción y su efecto en el precio y las ganancias. Finalmente, se logró analizar los principales resultados obtenidos por el modelo utilizado en este país como herramienta de análisis, lo que contribuyó a la obtención de parámetros de referencia para la investigación.

De acuerdo con García, Bohórquez, López y Marín (2013) en el estudio *Poder de Mercado en Mercados Spot de Generación Eléctrica: Metodología para su Análisis*, en Colombia se realizó un análisis de las experiencias internacionales sobre la gestión de mercados, para luego determinar una metodología acorde a las características del pool eléctrico, en donde se propuso un modelo exponencial de la función de oferta enfocado a precios *spot*.

Entre los mercados con mayor eficiencia destacan: el *Noor Pool* (operado por los países nórdicos y bálticos), uno de los más exitosos en Europa por su competitividad, cuenta con una alta incidencia de generación con energía hidráulica, asimismo, ha realizado cambios en su estructura (minimización de barreras de ingreso, integración regional y erradicación de restricciones de transmisión), así como ha implementado herramientas para la vigilancia de los precios spot que ha incidido en que sean uno de los más bajos en comparación con otros mercados del continente europeo.

El mercado de Alberta (Canadá) priorizó al consumidor luego de la desregularización del subsector, entre sus funciones se encuentra la supervisión de la competitividad, así como el estudio, análisis e identificación de las causas que impiden su óptimo desempeño (conducta de los agentes y normativa). El mercado de California utiliza controles anticipados de poder de mercado, para lo cual emplea una prueba de conducta para establecer el número de agentes dentro del mercado, así como determinar su participación y competencia.

El mercado de Pensilvania, New Jersey y Maryland (PJM), utiliza una metodología análoga al de California, en donde la diferencia sustancial se encuentra en determinar la existencia de tres agentes con la mayor participación en el mercado, a los que se les aplica la prueba de conducta y así desarrollar los mecanismos para mitigar cualquier efecto en el cual puedan incidir.

Finalmente, en Inglaterra y Gales se estableció que dos empresas representaron una fuerte incidencia dentro del mercado, que derivó en desarrollar mecanismos de regulación que estuvieran enfocados en establecer que las empresas vendieran parte de su capacidad instalada a otras compañías, con el objetivo de reducir su participación, así como la imposición de un precio medio anual.

Este mercado se enfocó en la desmonopolización, imposición de prohibiciones ante conductas que intervengan con la competitividad, así como la creación de bases para el desarrollo de ventas a futuro.

En Colombia, a partir de los esfuerzos por la implementación de la Ley Eléctrica (1994) en donde se promueve la competitividad, se realizó una caracterización del mercado eléctrico donde se determinó que cerca del 60 % de la generación es suministrada por tres empresas y al añadirle otras dos por orden de relevancia alcanzan un poder de mercado del 81 %. Utilizando la técnica de Convulsión y el modelo de Cournot se modeló el precio de la generación de energía eléctrica, los resultados revelaron una elasticidad precio demanda mayor a uno, que evidenció la existencia de poder de mercado ejercida por una minoría de grandes empresas generadoras dentro del subsector.

Asimismo, se estableció que, en los escenarios proyectados en donde se utilizaron supuestos de contratos de energía eléctrica en el largo plazo, los precios presentan una baja fluctuación, por lo que recomiendan disminuir las restricciones impuestas a los consumidores respecto a contratos de energía con el fin de minimizar la incidencia de las transacciones en el mercado cortoplacista.

En Guatemala, la gestión del mercado eléctrico se encuentra a cargo del AMM, ente encargado de realizar la programación y administración de las centrales de generación de energía eléctrica del país priorizando el mínimo costo operativo, en adición, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) en su papel regulador, ha realizado esfuerzos en relación al desarrollo de la Planificación Nacional de Generación, que en la última década ha contribuido con la transformación de la estructura de la matriz de generación eléctrica, que ha coadyuvado con la atracción de inversión en proyectos enfocados al desarrollo

de electricidad a través de recursos renovables, propiciando una mayor competitividad dentro del mercado del territorio.

Este estudio proporcionó información sobre la dinámica de una basta cantidad de mercados del subsector eléctrico alrededor del mundo, lo que deja en manifiesto los trabajos que se realizan en materia de competitividad, apertura de los mercados, control y gestión de este. Guatemala, al igual que Colombia y otros países, ha realizado cambios y esfuerzos a nivel de legislación con el fin de propiciar un mercado competitivo, con el cual se ha logrado la desmonopolización de este, estabilidad del suministro y condiciones favorables para la atracción de inversión.

Según lo indicado por Hurtado, Quintero y García (2014) en el estudio *Estimación del precio de oferta de la energía eléctrica en Colombia mediante inteligencia artificial*, se evidenció que dentro de los sectores económicos con mayor margen de estrategia se encuentra el mercado de electricidad, derivado que predomina una figura de oligopolio, factor que le permite maximizar sus utilidades. Se estableció que alrededor del 80 % de la actividad de generación de Colombia se encuentra concentrada en seis grandes empresas.

El mercado funciona mediante la intervención del ente operador quién ordena las centrales generadoras con relación al precio, de forma ascendente (menor/mayor) hasta suplir con la demanda en cada período de tiempo. El estudio sugiere el empleo de métodos econométricos para estimar y pronosticar los precios de la electricidad, empleando como base un modelo de inteligencia artificial (lógica difusa y redes neuronales artificiales).

Los resultados obtenidos para el caso del mercado eléctrico de Colombia revelaron que los modelos de lógica difusa se ajustan de tal forma que pueden llegar a replicar el conocimiento y experiencia de los especialistas, factor que lo hace apto, además, sugiere que la construcción de modelos con una mayor estructura es capaz de proveer criterios subjetivos. Asimismo, indica que los modelos auto regresivos no son una herramienta confiable para la estimación de los precios, derivado de las complicaciones en períodos con alta volatilidad y estabilidad.

Finalmente, el modelo de redes neuronales presentó un buen ajuste en determinadas circunstancias, en donde la estimación se apega a la tendencia de los datos observados, así como fue posible demostrar la presencia de un error mínimo; sin embargo, en algunos segmentos estudiados se evidenció que los resultados fueron deficientes, por lo tanto, su efectividad se catalogó como parcial.

Las recomendaciones finales de este estudio sugieren la incorporación de variables cualitativas que reúnan las características del criterio de expertos sobre el subsector eléctrico, de tal manera que se incorpore información valiosa que no esté siendo considerada, así como evaluar la estructura y participación de los recursos de la matriz de generación de energía eléctrica, con el fin de tener una mejor aproximación de las tendencias reales.

En Guatemala, el mercado eléctrico opera de una forma parecida al colombiano, derivado que el AMM realiza la programación de las generadoras a través de una figura que se conoce como despacho económico, en donde se prioriza el mínimo costo operativo, programando las centrales de tal forma que el mercado mantenga un precio bajo y estable.

Este estudio fue de utilidad en relación con los resultados recabados sobre la estimación de los precios de la electricidad con el análisis de otro modelo alternativo al propuesto en esta investigación, de tal manera que sirvió de elemento de contraste. Asimismo, fue importante evaluar la similitud de condiciones en relación con el despacho económico, derivado que ambos países utilizan el sistema de subasta inversa para convocar a las centrales generadoras, con lo cual se promueve un precio bajo y estable.

Conforme con el estudio de *Crecimiento Económico, Precios de la Energía e Innovación Tecnológica* elaborado por Blümel, Domper y Espinoza (2010), en Chile se desarrolló una investigación entre el grado de relación del crecimiento económico respecto de los precios de la electricidad, utilizando como método de análisis la cointegración, así como modelos de corrección de error (MCE) partiendo de la función de producción neoclásica (integrada por trabajo, capital y avance tecnológico) modificada, la cual incorpora la variable energía eléctrica como cuarto elemento de análisis.

Los resultados indicaron que a medida que se incrementa el precio de este, la tasa de variación del Producto Interno Bruto (PIB) de una economía se reduce en el largo plazo. El empleo de la cointegración y MCE como método de análisis del crecimiento de una economía y la evaluación de los precios, permite evaluar la incidencia en el desarrollo de políticas en el ramo energético respecto a procesos industriales, así como el impacto en el desarrollo económico de un país, que en la actualidad representa un tema de interés para los países emergentes y en vías de desarrollo.

En Guatemala, una variable que puede emplearse como elemento comparativo del crecimiento económico dentro del territorio es la utilización de energía eléctrica del Sistema Nacional Interconectado (SNI), derivado que el suministro de electricidad representa un insumo básico e indispensable en cualquier actividad económica (agropecuaria, industria, comercio, servicios y transporte), así como la demanda que realizan los hogares, el gobierno y otras instituciones que su objetivo principal no es lucrar.

Este estudio suministró información sobre la importancia de la electricidad dentro de una economía, que a su vez traslada dicha relevancia hacia su precio. Por lo tanto, deja en evidencia la incidencia de su interacción y comportamiento a nivel macroeconómico, además, en horizontes de tiempo específicos (mediano y largo plazo), puede ocasionar efectos en el bienestar de una población. Por lo que se crean antecedentes fuertes para que se realicen esfuerzos por realizar cada vez más estudios sobre su comportamiento.

Según Sikora, Campos y Bustos (2017) en el estudio *Determinantes del Precio Spot Eléctrico en el Sistema Interconectado Central de Chile*, se evaluaron las variables que inciden en el precio spot de la electricidad, utilizando para ello, un modelo de vectores auto regresivos (VAR), así como la desagregación del costo marginal, con el fin de analizar la variación de las diversas variables del modelo.

Este estudio indica que en el mercado internacional se han utilizado métodos como la función de oferta y los mecanismos de subasta para modelar y monitorear los precios. En el territorio chileno, se propone sustituir el método conocido como índice de oferta residual, que es utilizado para intervenir a los agentes, por un modelo exponencial que contribuya con la estimación del precio de la electricidad en el mercado eléctrico de oportunidad.

Los resultados con mayor relevancia del estudio sugieren que ante una mayor disponibilidad del recurso hídrico (embalses) en las generadoras hidráulicas, la variable adquiere una alta incidencia en la explicación de la variación del costo marginal de la generación de electricidad. Asimismo, existen otras variables que complementan las explicaciones de las variaciones, entre ellas destacan otros tipos de recursos de generación (eólico y solar), derivado del efecto sustitución que ejerce con la generación térmica, lo que provoca una disminución en la dependencia de combustibles fósiles.

Finalmente, la demanda de energía eléctrica y el rezago que existe en el costo marginal completan la totalidad de los otros factores explicativos. Las consideraciones finales indican que el país debe de monitorear la demanda, promover la generación con recursos renovables, así como mejorar la operación de las centrales de generación y la red de transmisión.

En Guatemala, la generación con energía hidráulica ha representado en temporada favorable de lluvias hasta el 52 % del total de la generación anual, mientras que en época seca se ha reducido hasta un 36 % su participación. Además, se han realizado esfuerzos en la última década para transformar la composición de la matriz de generación eléctrica del territorio, desde el año 2015 se incorporaron los siguientes recursos: eólico, solar y biogás. Para 2020, la generación de electricidad con fuentes renovables representó el 75 % del total de la generación (25 % no renovable), que reduce la dependencia del país con relación al consumo de carbón mineral y otros derivados del petróleo, así mismo, incide en la reducción del costo operativo de las generadoras de electricidad.

Este estudio suministró información sobre la importancia de considerar la generación por tipo de recurso, con el fin de realizar un análisis de cada segmento y evaluar su relación con el resto de los componentes que estructuran el precio. Asimismo, realza la relevancia de la generación con recursos hidráulicos en territorio chileno, que al igual que Guatemala, representa un indicador de doble vía, que sugiere ante una mayor participación de este, habrá efectos en la reducción del costo operativo y como resultado un precio *spot* bajo y estable.

6. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado se desarrolla la teoría y conceptos que fundamentan la investigación, donde se abordan aspectos importantes sobre el subsector eléctrico del país, así como el panorama general de este, la composición de la matriz de generación de energía eléctrica, los precios de los combustibles fósiles, otros indicadores asociados y finalmente, la descripción del método estadístico de análisis utilizado.

6.1. Generación de energía eléctrica en Guatemala

A continuación, se muestran las generalidades respecto al marco institucional, subsector eléctrico, panorama general, composición de la matriz de generación eléctrica, así como la generación categorizada por recurso.

6.1.1 Marco institucional

El subsector eléctrico del país se encuentra conformado bajo la siguiente estructura institucional.

- Ministerio de Energía y Minas (MEM), ente rector, encargado de la formulación y promulgación de planes y programas relacionados al subsector.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), ente regulador, que debe aplicar y verificar el cumplimiento de lo emitido por el rector.

- Administrador del Mercado Mayorista (AMM), ente operador, se encarga de la administrar, gestionar y coordinar el Mercado Mayorista (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

6.1.2 Subsector eléctrico

El subsector eléctrico representa una de las dos partes en las que se clasifica el sector energético del territorio guatemalteco (hidrocarburos es el restante).

En Guatemala, según la *Ley General de Electricidad* (1996) se define como Mercado Mayorista al “conjunto de operaciones de compra y venta de bloques de potencia y energía que se efectúan a corto y a largo plazo entre agentes del mercado” (pág. 6). Por su parte, también indica que “los Agentes del Mercado Mayorista: son los generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores y transportistas” (pág. 5).

El agente Generador se define como “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”. (Congreso de la República, 1996, pág. 5)

Conforme con el *Reglamento de la Ley General de Electricidad*, se denomina SNI al segmento que se encuentra interconectado del Sistema Eléctrico Nacional, integrado por la agrupación de todas las instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, así como también las redes de distribución (Sistema de Generación, Transmisión y Distribución), subestaciones eléctricas, equipos eléctricos, centrales de carga, así como toda las obras orientadas a la prestación de servicios, interconectados o no, en donde se

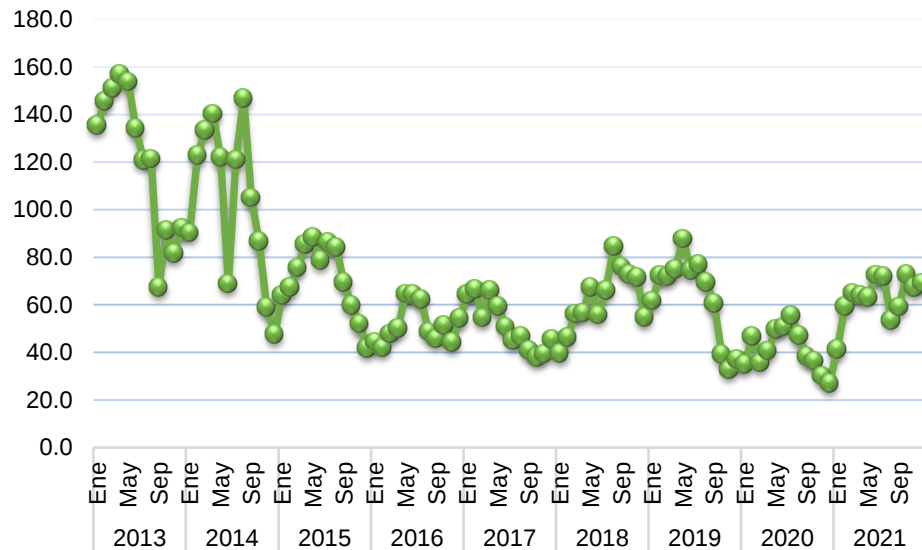
realizan intercambios de electricidad en diversos puntos del país hasta llegar al usuario final, quién es titular de un inmueble que demanda suministro de electricidad (Secretaría General de la Presidencia, 1997).

Asimismo, el Reglamento define que el *Mercado de Oportunidad o Spot*, como el lugar en donde se efectúan transacciones de corto plazo de bloques de electricidad (compra/venta) y se caracteriza por la omisión de contratos a término. Asociado a este mercado surge el concepto de precio de oportunidad o spot, el cual está representado por valor del costo marginal de la electricidad por hora o en que defina la CNEE, determinado por el AMM a través del despacho de la oferta disponible (Secretaría General de la Presidencia, 1997).

En la figura siguiente se detalla la evolución del precio spot del mercado de oportunidad para los años 2013 a 2021, donde se observa que a partir de 2014 mostró una baja sostenida que en promedio reportó una caída de 24.3 % hasta 2016, en 2017 se estabilizó para luego presentar crecimientos entre 2018 y 2019 (alza de 11.3 %), por su parte, en 2020 presentó una variación de -35 %.

Figura 1.

Precio spot del Mercado de Oportunidad US\$ por MWh



Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM.

El precio *spot* se encuentra influenciado por diversas variables entre las que destaca la composición de la estructura de la matriz de generación eléctrica, el precio internacional de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados), volatilidad del tipo de cambio, ritmo inflacionario, clima, expectativas en la industria azucarera, entre otros. Derivado de que su comportamiento depende de un alto número de variables, su complejidad de interpretación, predicción y análisis es necesario el desarrollo de herramientas estadísticas que contribuyan con su estudio y comprensión.

6.2. Panorama general de la generación de energía eléctrica

En el año 2009 el MEM publicó el primer *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2008 – 2022* que fue elaborado para hacer cumplir los lineamientos, acciones y estrategias sugeridas en la *Política Energética de Guatemala*, así como generar las bases del *Plan de Expansión del Sistema de Transporte*.

Dentro de los objetivos con mayor relevancia destacan: diversificar la composición de la estructura de la matriz energética con énfasis en el fomento de proyectos con fuentes renovables, incentivar la inversión e ingreso de proyectos de generación de electricidad con mayor eficiencia, reducción del costo del suministro de electricidad, así como contribuir con la protección medio ambiental minimizando las emisiones de CO² a través de la reestructuración de la matriz de electricidad (2009).

Asimismo, en el 2014 se publicó el *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2014 – 2028*, los objetivos que destacan son: diversificar la matriz de electricidad con el fin de alcanzar en el año 2022 un aporte mínimo del 60 % con recursos renovables, reducir los costos del suministro de electricidad (inversión y operación), así como coadyuvar con minimizar las emisiones de CO² mediante la reestructuración de la matriz de electricidad (2014).

Finalmente, en el año 2020 se publicó el más reciente *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2020 – 2050*, con el objetivo primordial que es el garantizar la seguridad energética del territorio guatemalteco dentro del subsector eléctrico.

Entre otros objetivos destacan: promoción de inversiones en generación de electricidad con fuentes renovables priorizando tecnologías que garanticen energía y potencia al sistema; promoción de la generación con gas natural en el departamento de Petén, el empleo de recursos geotérmicos en los territorios que cuentan con dicho potencial, así como el empleo de tecnología eólica y solar con reserva de potencia; combinar los recursos de la matriz de generación de electricidad para garantizar el suministro ante los cambios del clima y otros factores; y fomentar la creación de proyectos localizados estratégicamente donde existan las condiciones del recurso y la demanda (2020).

Es relevante destacar que los planes antes mencionados contienen en esencia tres factores fundamentales, diversificar la estructura y composición de la matriz de generación de electricidad, reducción del costo del suministro de electricidad y el desarrollo y atracción de inversión enfocados en proyectos de generación con fuentes renovables.

6.3. Matriz de generación de energía eléctrica en el territorio guatemalteco

Representa la composición de las fuentes o recursos de energía utilizados como insumo para la generación de electricidad de un territorio.

La matriz de generación eléctrica del país se encuentra estructurada de acuerdo como se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 2.

Composición de la matriz de electricidad de Guatemala, 2021

Recurso	Tipo	Generación	%
Renovable	Hidráulica, biomasa, eólica, geotérmica, solar, biogás y syngas.	8,523.8	71.4
No renovable	Carbón, bunker, coque de petróleo, gas natural y diésel.	3,419.3	28.6
Total		11,943.1	100.0

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM.

La matriz del año 2021 elaborada con cifras acumuladas al 31 de diciembre, se encontró compuesta por un 71.4 % de generación con recursos renovables y el restante 28.6 % con fuentes no renovables, que representa un factor favorable respecto de la dependencia del consumo de carbón mineral y los derivados del petróleo, así como el desarrollo apropiado de la utilización de los recursos nacionales.

Los resultados expuestos evidencian que derivado de los esfuerzos del sector público y privado realizados en la implementación de los *Planes Indicativos de Expansión de la Generación y Transporte*, el país ha logrado diversificar la estructura de su matriz de generación de electricidad, alcanzando el 75.3 % y 69.9 % de generación con recursos renovables en los años 2020 y 2017 (años con períodos de lluvias favorables), así como períodos no tan favorables en donde el aporte renovable fue del 57.9 % en los años 2015 y 2019, derivado de la presencia de déficit de lluvias.

6.4. Generación de energía eléctrica por tipo de recurso

En Guatemala, según los registros publicados por el AMM al 31 de agosto de 2021, el territorio cuenta con nueve recursos energéticos empleados para la generación de electricidad. La generación con recursos renovables está

conformada por la hidráulica, biomasa, eólica, geotérmica, solar, biogás y syngas. La no renovable está compuesta por la generación con combustibles fósiles como el carbón, *bunker*, coque de petróleo, gas natural y diésel. A continuación, se muestra la tabla con el detalle de la generación de electricidad por tipo recurso.

Tabla 3.

Generación de energía eléctrica por tipo de recurso, 2013 al 2021

Año	Renovable (R)	No Renovable (NR)	Total	R	NR	Total	R	NR	Total
	MWh			%			Tasa de variación anual		
2013	6,137.7	3,132.8	9,270.5	66.2	33.8	100.0			
2014	6,546.1	3,236.1	9,782.3	66.9	33.1	100.0	6.7	3.3	5.5
2015	5,967.4	4,334.5	10,301.9	57.9	42.1	100.0	(8.8)	33.9	5.3
2016	6,425.3	4,452.6	10,877.9	59.1	40.9	100.0	7.7	2.7	5.6
2017	8,029.9	3,460.0	11,489.9	69.9	30.1	100.0	25.0	(22.3)	5.6
2018	7,730.8	4,791.6	12,522.4	61.7	38.3	100.0	(3.7)	38.5	9.0
2019	7,080.9	5,147.3	12,228.2	57.9	42.1	100.0	(8.4)	7.4	(2.3)
2020	8,372.5	2,749.5	11,122.1	75.3	24.7	100.0	18.2	(46.6)	(9.0)
2021	8,523.8	3,419.3	11,943.1	71.4	28.6	100.0	1.8	24.4	7.4

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM.

En la tabla anterior se percibe que la generación de energía eléctrica ha tenido períodos en donde ha sido estable, en los años 2013 – 2017 en donde creció a un ritmo interanual del 5.5 %, en 2018 creció a una tasa del 9 % mientras que para 2019 como efecto de un alto crecimiento en el año previo, la generación presentó una caída de 2.3 % estabilizándolo a su ritmo natural.

Por su parte, en 2020 se reportó una disminución de 9 %, explicado principalmente por una caída en la demanda del SNI, derivado de la propagación mundial del virus SARS-COV-2 que incidió en decisiones radicales y drásticas

por parte de los gobiernos como manera de contención, repercutió en el cese temporal y parcial de muchas actividades económicas catalogadas como no esenciales, así como la priorización de la modalidad de teletrabajo, factor que impactó en la conducta de los consumidores y grandes demandantes de electricidad, ocasionando un deterioro en el crecimiento del suministro.

6.5. Precios internacionales de los combustibles fósiles

En el presente apartado se aborda lo relacionado con los precios de los combustibles fósiles más representativos en la generación de electricidad con recursos no renovables. Estos son empleados como recuso energético en el proceso de generación de electricidad. A continuación, se presenta la tabla con los combustibles con más incidencia en la generación no renovable.

Tabla 4.

Generación de energía eléctrica por tipo de recurso, 2013 al 2021

Año	No Renovable	Carbón	Bunker	Coque de petróleo	Carbón	Bunker	Coque de petróleo	Total
	MWh				%			
2013	3,132.8	1,633.9	1,498.0	-	52.2	47.8	-	100.0
2014	3,236.1	1,854.7	1,380.2	-	57.3	42.7	-	100.0
2015	4,334.5	2,361.8	1,971.6	-	54.5	45.5	-	100.0
2016	4,452.6	2,856.8	1,595.6	-	64.2	35.8	-	100.0
2017	3,460.0	3,059.5	395.5	-	88.4	11.4	-	99.9
2018	4,791.6	3,902.7	379.2	507.7	81.4	7.9	10.6	100.0
2019	5,147.3	3,900.5	492.3	752.9	75.8	9.6	14.6	100.0
2020	2,749.5	1,857.2	230.3	651.4	67.5	8.4	23.7	99.6
2021	3,419.3	2,870.3	226.5	305.9	83.9	6.6	8.9	99.5

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM.

El carbón es el combustible más utilizado en la generación de electricidad, representa el 69.5 % con relación al total de la generación no renovable, seguido del bunker con el 24.0 % y el coque de petróleo 6.4 %. En promedio estos recursos suman el 99.9 % de la generación no renovable, el restante 0.1 % lo integra el diésel y gas natural (se incorporó el recurso a partir de 2020).

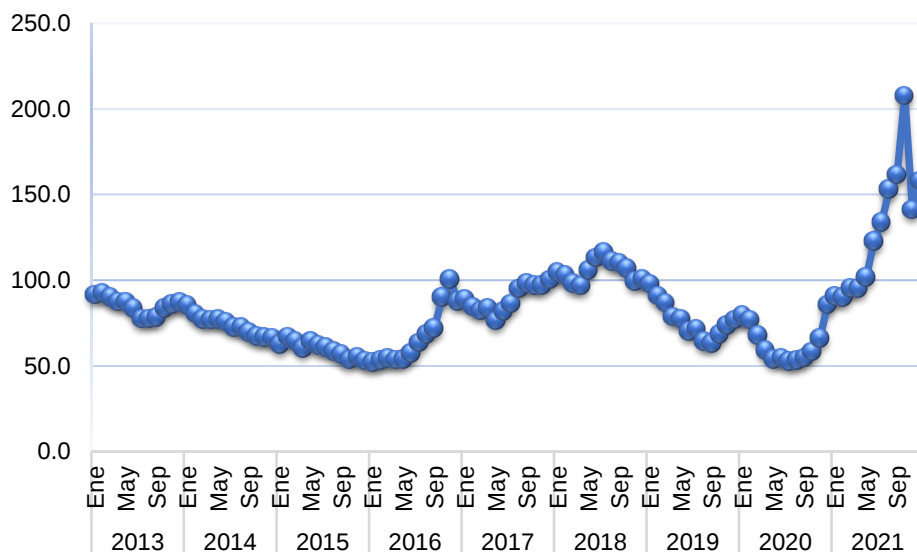
Derivado de la importancia del carbón y el bunker en la generación no renovable, la volatilidad en los precios internacionales puede incidir en el costo operativo del Mercado Mayorista, que impactará en el precio *spot*, así como en todas las variables que se deriven de este.

6.5.1 Precio internacional del carbón

De acuerdo con los registros estadísticos mensuales del Fondo Monetario Internacional (FMI), se muestra la figura siguiente en donde se presenta el comportamiento medio del precio de referencia del carbón de Australia y Sudáfrica.

Figura 2.

Precio del carbón en US\$ por tonelada métrica



Nota. Elaboración propia, con base en información del FMI.

Derivado que Guatemala es un importador neto de carbón mineral, la economía se encuentra expuesta a las fluctuaciones de los precios internacionales del recurso. A partir del año 2013, los precios iniciaron una desaceleración que provocó una caída por varios años, que su punto más bajo en 2015, reportó una baja de 19.1 %, donde el sitio *web El Periódico de la Energía*, publicó que la caída se explica por tres razones, “por un exceso de capacidad debido a la menor demanda, consecuencia de desaceleración de la producción industrial en Asia, especialmente en China, y de la débil situación económica mundial tipos de cambio ... bajas tarifas de los fletes” (Sitio *web El Periódico*, 2016).

Entre 2016 y 2018 los precios presentaron una recuperación, en promedio creció 21.1 %. A partir de 2019 volvió a caer en promedio 27.3 % y en 2020 fue

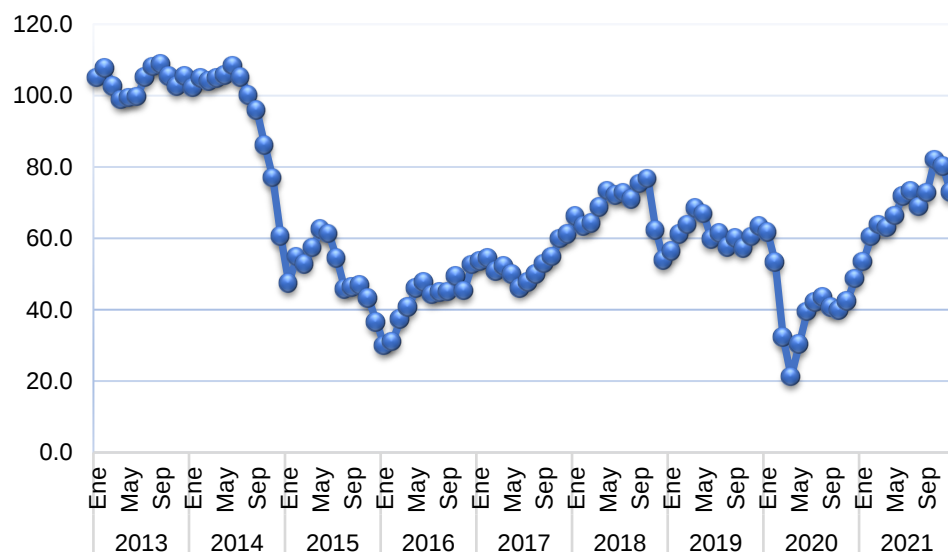
de 17.1 %. Esta última caída se debe principalmente a que muchos países del mundo ya se encuentran en procesos de transición a generación con recursos renovables, factor que incide en una menor demanda de este producto, lo que ocasiona un exceso de oferta, así como un abaratamiento de este (El País, 2021).

6.5.2 Precio internacional del petróleo

A continuación, se muestra la figura donde se presenta el comportamiento de los precios internacionales del petróleo.

Figura 3.

Precio del petróleo en US\$ por barril



Nota. Elaboración propia, con base en información del FMI.

El precio del barril del petróleo también ha presentado un comportamiento hacia la baja a partir del segundo semestre de 2014, se observó que entre los años 2015 y 2016 tuvo una disminución más pronunciada, en promedio una caída

31.4 %, derivado del aumento de la oferta mundial, influenciado por el incremento de la producción de Estados Unidos, principalmente por la incorporación de nuevas técnicas de extracción, así como cambios acordados dentro de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), aunado a que otros países incrementaron su cuota de mercado (DW, 2021).

Entre los años 2017 – 2018, el precio tuvo una recuperación promedio de 26.3 %, mientras que en 2019 volvió a registrar una caída de 10.2 %. En 2020, a consecuencia de la crisis sanitaria mundial por la propagación del SARS-COV-2, la economía mundial se contrajo debido a las restricciones impuestas por los gobiernos, que incidió en una menor demanda mundial de petróleo y sus derivados, así como una sobre oferta en el mercado internacional, lo que llevó a realizar gestiones ante los OPEP para que se realizara una intervención para moderar los precios, que conllevó a una reducción programada de los barriles diarios extraídos; estos factores contribuyeron a la caída de 32.7 % en el año (Forbes, 2021).

Esta variable juega un papel importante, debido que la generación con recursos no renovables se ve beneficiada ante una baja en los precios internacionales del petróleo y de sus derivados, incidiendo en una reducción al costo operativo de las centrales eléctricas que emplean este como recurso, caso contrario ante un incremento sostenido del mismo.

6.5.3 Panorama internacional

En el estudio *Crecimiento económico, precios de la energía e innovación tecnológica*, elaborado por Blümel, Domper y Espinoza (2010), se menciona que “la energía, como el petróleo, el carbón, el agua, entre otras, son consideradas en las cuentas nacionales solo como factores de producción intermedios,

ignorando el hecho que la energía per se puede constituirse como un factor de producción” (pág. 11).

Este estudio intenta demostrar la relevancia de la energía en cada ámbito productivo, que debería de considerarse no solo como parte de las estructuras de costos de las diferentes actividades económicas, sino como un factor productivo con la misma relevancia que el trabajo, capital y avance tecnológico (función de producción neoclásica), derivado de la importancia que hoy en día representa, ya que sin energía el mundo tal cual se conoce, se paralizaría. Asimismo, se estableció que, ante cambios en los precios del petróleo, el precio de la electricidad se ve alterado de alguna manera, que puede ocasionar desincentivos.

Por su parte, García, Bohórquez, López & Marín (2013) en el estudio *Poder de Mercado en Mercados Spot de generación eléctrica: metodología para su análisis*, determinaron que los precios *spot* sufrieron impactos producto de las variaciones en los precios internacionales de los combustibles fósiles, principalmente, el recurso gas natural; “los precios desde el 2008 han venido cayendo, específicamente en 2009 cayeron un 47 % con respecto al año anterior, pasando de U\$ 90MWh a U\$ 48MWh, debido a la caída de los precios del gas natural” (pág. 8).

En este estudio se muestra cómo los precios internacionales pueden incidir dentro de los precios de la electricidad, es importante mencionar que el nivel de impacto varía en relación con las condiciones de cada país y como este estructurado el parque de generación de electricidad.

El estudio *Estimación del precio de oferta de la energía eléctrica en Colombia mediante inteligencia artificial*, elaborado por Hurtado, Quintero, y García (2014), expone dentro de su metodología el empleo de los precios internacionales del gas natural, carbón y petróleo, como variables independientes para modelar el comportamiento de los precios de la energía eléctrica, por lo tanto, crea un antecedente práctico para realizar estudios de caso con otras metodología y ajustes según las características de cada país en donde se intente replicar.

6.6. Otros indicadores relacionados con la generación de energía eléctrica

Existen otras variables que inciden en el comportamiento del precio de la generación de energía eléctrica, entre los que encontramos: las fluctuaciones del tipo de cambio y el ritmo inflacionario. A continuación, se abordan aspectos relacionados con estos otros indicadores.

6.6.1 Tipo de cambio

De conformidad con la *Ley de Libre Negociación de Divisas*, el Banco de Guatemala calcula diariamente el tipo de cambio de referencia del quetzal con respecto al dólar de los Estados Unidos de América, aplicable para la liquidación de obligaciones tributarias u otras que supongan pagos del o al Estado y sus entidades, así como para la resolución de conflictos en el ámbito administrativo y jurisdiccional. El Tipo de Cambio de Referencia del quetzal respecto al dólar de los Estados Unidos de América será igual al promedio ponderado de los tipos de cambio correspondientes a las operaciones de compra y de venta de divisas iguales o mayores a US\$

20.0 miles, realizadas por las instituciones que constituyen el Mercado Institucional de Divisas en el mercado *spot* o de contado, establecido a las 18:00 horas del mismo día hábil bancario al que correspondan. (Banco de Guatemala, 2021, pág. 1)

El tipo de cambio es una variable fundamental en la generación de energía eléctrica, derivado que el *Mercado Mayorista* se encuentra valorado en dólares, por lo tanto, la volatilidad de este puede ocasionar cambios en los precios del suministro.

6.6.2 Inflación

El Banco de Guatemala define la inflación como “el aumento continuo y general de los precios de los bienes y servicios que se compran y venden en un país” (2013, pág. 23). Asimismo, para su cálculo se utiliza el IPC, el cual se define como el cambio porcentual a través del tiempo del costo promedio de una canasta de bienes y servicios adquiridos por las familias, bajo el supuesto que la calidad y cantidad se mantienen estables. Este índice puede emplearse para evaluar en cortos períodos de tiempo el comportamiento de la economía (Instituto Nacional de Estadística, 2011).

6.6.3 Régimen de lluvias

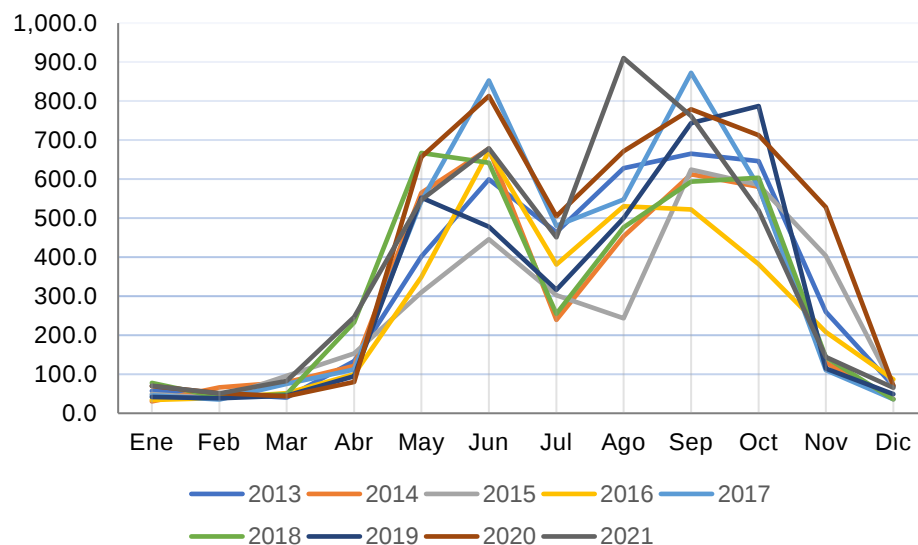
En Guatemala, existen al menos 84 estaciones meteorológicas distribuidas alrededor del territorio, donde cerca del 55 % pertenecen al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), y el restante 45 % al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), en donde se realizan mediciones relacionadas al estado

del tiempo, considerando también el estado y capacidad de cada uno de estos puntos, donde se realiza, principalmente, el registro de la cantidad de lluvia, la cual se mide en milímetros. Asimismo, existen otras redes de medición de lluvia administradas por entidades como el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ), entre otros.

A continuación, se presenta el análisis cronológico del nivel de lluvias, el cual cuantifica la totalidad de registros procesados por las estaciones.

Figura 4.

Análisis cronológico del nivel de lluvias en Guatemala, milímetros



Nota. Elaboración propia, con base en información del INSIVUMEH e ICC.

En la figura anterior se puede observar el promedio de los milímetros diarios de lluvia dentro del territorio del país, segmentados en meses. Es importante destacar que todos los años guardan cierta tendencia, sin embargo, existen también brechas marcadas en donde existen separaciones fuertes, lo que

se encuentra explicado por el tipo de año que fue en cada momento en el tiempo, en donde se ha visto afectado o favorecido por la presencia del fenómeno del niño o niña, sistemas de alta o baja presión, entre otros.

Por su parte, es relevante indicar que la serie de datos contempla el análisis de registros de nueve años, en donde se agregó la información en 108 meses, donde es importante destacar que el máximo de mm/h determinado fue de 910.4, mientras que el mínimo estuvo en el orden de los 30.5, así como se estableció un promedio de 330.0 y una mediana de 257.0, donde finalmente el rango de la muestra analizada corresponde a 880.0.

Esta variable es de alta importancia para la investigación, derivado que el nivel de lluvia está asociada a la disponibilidad de caudales en los afluentes que sirven de suministro de recurso hidráulico para las centrales generadoras que utilizan esta fuente de energía. Este tipo de generación ha llegado a representar cerca del 75 % del total de lo generado en el segmento de electricidad renovable. Por lo tanto, se considera necesario incorporar la variable del régimen de lluvias dentro del país, con el fin de dotar al modelo con información valiosa en su fase de construcción.

6.7. Análisis de regresión lineal múltiple

En la presente investigación, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, que según Gujarati en el texto *Econometría*, indica lo siguiente:

La adición de variables conduce al análisis de los modelos de regresión múltiple, es decir, modelos en los cuales la variable dependiente, o regresada, Y , depende de dos o más variables explicativas, o regresoras.

... El modelo de regresión múltiple más sencillo posible es la regresión de tres variables, con una variable dependiente y dos variables explicativas. ... modelos de regresión lineal múltiple, es decir, modelos lineales en los parámetros, que pueden ser o no lineales en las variables. ... Se entiende que el término lineal se refiere a linealidad en los parámetros y no necesariamente en las variables. (Gujarati, Econometría, 2010, pág. 188)

Este análisis pretende determinar el grado de correlación que existe entre una variable, en el caso de la investigación son los precios de la generación de energía eléctrica respecto de un grupo de variables independientes seleccionadas para el estudio, que fueron elegidas en función a la estrecha relación que guardan entre sí con la variable de estudio. Asimismo, con este se busca determinar la ecuación del modelo de regresión que explique el comportamiento de tal variable analizada.

Asimismo, se debe evaluar los siguientes aspectos del modelo que se construya: matriz de correlación, contraste global del modelo (ANDEVA), ajuste y error estándar, intervalos de confianza, contraste para cada uno de los parámetros, finalmente, se debe ir descartando cada una de las variables que no contribuye de manera positiva al modelo en desarrollo. En cada etapa luego de eliminar una variable, se deben de analizar nuevamente todos los aspectos antes listados, hasta obtener el modelo final, con lo que se cumple con el principio de parsimonia.

Luego de establecer el modelo de regresión se debe proceder con realizar la evaluación de cada uno de los supuestos, que son necesarios para dar validez al modelo mismo.

Análisis de los siguientes supuestos: esta evaluación se realiza sobre los errores del modelo.

- Linealidad: pretende determinar si los datos se ajustan a una recta de regresión.
- Normalidad: busca definir si se cuenta con distribución cercana a la normal, con el objetivo de dar validez a las pruebas estadísticas paramétricas.
- Independencia: pretende comprobar que cada observación no se encuentre reflejada en otras, analizando la inexistencia de patrones de comportamiento. Para ello se utiliza la prueba de rachas como contraste, así como el gráfico de residuos y predichos.
- Homocedasticidad: esta prueba se concentra en evaluar los valores de la varianza a través de su dispersión. Se realiza utilizando la prueba F de Snedecor, así como de residuos estandarizados.
- Homogeneidad: evalúa que el valor medio esperado de los errores sea equivalente o cercano a 0. Se verifica a través de una prueba *T* de *Student*.

Finalmente, al concluir con la evaluación y verificación del cumplimiento de cada uno de los supuestos, se cuenta con un modelo apto para explicar el comportamiento de los datos y realizar inferencia estadística a partir del mismo.

7. RESULTADOS

De acuerdo con el alcance propuesto, se presenta una introducción a los resultados obtenidos, seguido del desarrollo de cada uno de los objetivos de la investigación, donde se detalla cada aspecto evaluado y los hallazgos relacionados a estos.

7.1. Introducción a los resultados obtenidos

A través de estadística descriptiva se realizó un análisis de la variable dependiente de interés, como estudio preliminar para la presentación de los objetivos, con el fin de describir y caracterizar de manera técnica el comportamiento del precio de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad o también conocida como precio *spot*, misma que fue tomada de los registros publicados por AMM. La serie de datos analizada asciende a 108 registros, los cuales se encuentran comprendidos en el período de enero del año 2013 a diciembre 2021, los resultados obtenidos son los siguientes:

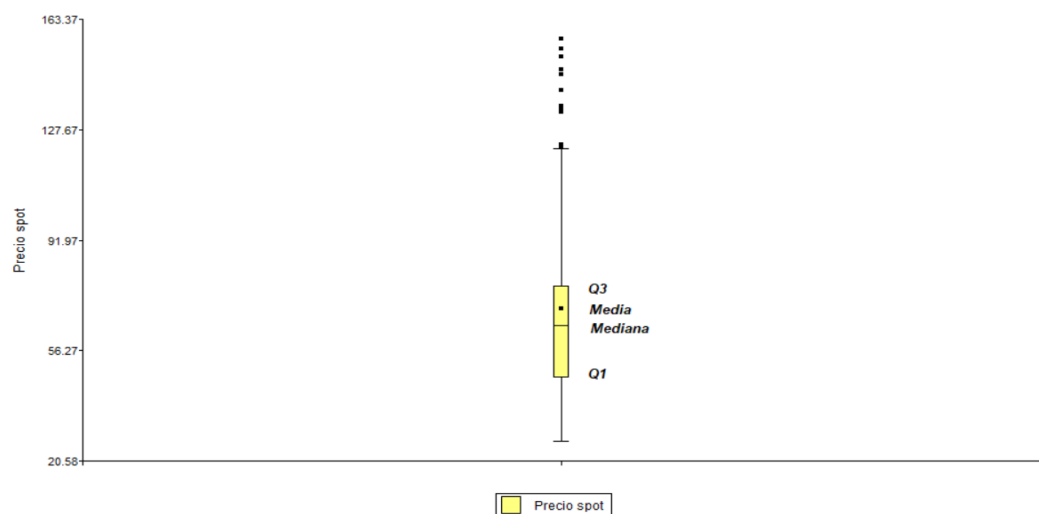
Medidas de tendencia central o de posición: el valor promedio del precio *spot* corresponde a \$ 69.9 el MWh; la mediana se encuentra entre la posición 54 y 55 de la serie, específicamente en donde se halla el 50 % de los datos, siendo este \$ 64.2 el MWh; no se encontraron registros de mayor frecuencia, por lo tanto, se concluye que la serie de datos es amodal. El cuartil uno se encuentra en la posición 27, que corresponde al 25 % de las observaciones, con un valor de \$ 47.5 el MWh; el cuartil dos es igual a la mediana en posición y valor, mientras que, el cuartil tres se localiza en el puesto 81, consolidando el 75 % de los registros siendo este \$ 77.2 el MWh.

Medidas de dispersión o variabilidad: el rango de los registros es equivalente a \$ 129.8 el MWh que es la diferencia entre los valores extremos del precio *spot* (máximo \$ 156.9 y mínimo \$ 27.1); la varianza es de \$ 919.9 MWh; la desviación estándar de los datos respecto de la media corresponde a \$ 30.3 el MWh, con lo que se concluye que en mayor medida, las observaciones se encuentran dentro de una banda de \$ 39.6 y \$ 100.2 el MWh; asimismo, el coeficiente de variación es de 43.4 %, que indica que los datos presentan una volatilidad media.

Medidas de forma: la simetría de las observaciones presenta un valor de 1.3, con lo que se establece que el coeficiente de simetría de *Fisher* demuestra que los datos presentan una distribución asimétrica positiva; por su parte, el coeficiente de curtosis es equivalente a 1.1, con lo que se concluye que los datos muestran una distribución leptocúrtica con un apuntalamiento mayor a la normal.

Figura 5.

Cajas de Box-Plot, precio spot



Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM e InfoStat ®.

En la figura anterior se muestra el gráfico de *Box-Plot*, en el que se muestran los resultados de los estadígrafos antes desarrollados de una manera visual.

7.2. Objetivo I

Establecer la relación que existe entre la composición de la matriz de generación eléctrica, principalmente, la asociada a fuentes renovables y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.

Los registros de la generación de energía eléctrica por tipo de recurso (renovable y no renovable) fueron tomados de los datos publicados por el AMM, que constó de dos fases: inicial, revisión de registros de los años 2017 a 2021; revisión y empalme de los registros de 2013 a 2016. En principio, se inició con el análisis de la información con la que se contaba la mayor desagregación en relación con la frecuencia de los datos, así como por la clasificación del tipo de recurso empleado en la generación de electricidad.

El AMM cuenta con una mayor desagregación publicada a partir del año 2017, con relación a los registros de la generación mensual por planta, donde se obtuvo la producción de electricidad por tipo de recurso empleado en el proceso productivo, que contribuyó en la obtención de la primera parte de la serie de datos necesario para el modelo. Para los años 2013 a 2016, solo se obtuvo el total generado en frecuencia anual, así como la clasificación por tipo de tecnología utilizada en ritmo mensual, que es una primera aproximación a lo requerido.

Para esto se pudo haber correlacionado un tipo de tecnología a un recurso en específico, pero, el mismo presenta debilidades derivado de las particularidades que puede tener cada planta productiva; con relación a que en el caso de la clasificación de los generadores térmicos pueden utilizar uno o varios recursos para el proceso en distintos momentos del año, donde los ingenios cogeneradores presentan la mayor dificultad para asumir este tipo de supuestos generales.

Los ingenios cogeneradores han aportado a la totalidad de la matriz de generación de energía eléctrica anual, alrededor del 14 %, incrementándose el porcentaje hasta superar el 30 % en temporada de zafra (de noviembre a abril). Es importante destacar, que un cogenerador en temporada de zafra emplea el bagazo de caña, principalmente, como recurso para la generación de electricidad, en los meses restantes utilizan combustibles fósiles para continuar con sus operaciones, además, cuentan con la capacidad de realizar mezclas de recursos en cualquier mes del año.

Por lo tanto, es imprescindible separar en la tipología adecuada los niveles de recursos empleados en la producción, derivado que la tecnología para este caso en específico puede sobreestimar la clasificación renovable en el segmento de biomasa, en función a que este contiene alguna clase de combustible, haciendo necesario elaborar un procedimiento que aísle ambos efectos, con el objetivo de establecer una serie con mayor consistencia.

Asimismo, este tipo de generación contribuye a minimizar los impactos estacionales de la generación con recursos hidráulicos (cerca del 50 % del total de lo generado anual en años con altas precipitaciones), quienes incrementan su participación entre los meses de mayo a octubre. Esta combinación de recursos permite mantener una matriz de generación de energía eléctrica diversificada y

robusta. Por lo que derivado de su importancia fue necesario realizar un tratamiento que permitiera capturar la totalidad de lo generado por tipo de recurso para los años restantes, con el objetivo de construir una serie adecuada para el modelo propuesto.

Finalmente, para completar los años restantes bajo las condiciones requeridas de clasificación (renovable y no renovable), se consideró lo publicado en los Informes Estadísticos Anuales del AMM, en donde se logró capturar de manera anual lo generado por tipo de recurso para los años 2013 a 2016. El tratamiento utilizado fue el siguiente: se inició con la asignación de un recurso a cada tipo de tecnología, empleando como base la serie de datos inicial; luego, se extrajo el total por recurso de los años sujetos a evaluación; seguido, se ordenaron los datos bajo las clasificaciones del último año (2021) por recurso y en frecuencia mensual, con el fin de facilitar el empalme de la serie; para finalizar, se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Para dar consistencia a la estacionalidad de los cogeneradores en el segmento de generación con recurso biomasa, se tomó como base el año 2017, el cual fue el donante de la estructura para realizar una distribución del total de lo generado por este tipo de tecnología. El proceso se repitió y aplicó de la misma manera para los años 2016 hacia atrás.
- Finalizado el proceso anterior, se procedió a generar las estructuras mensuales de la serie para cada tipo de recurso.
- Por último, los niveles anuales encontrados para cada tipo de recurso fueron distribuidos con las estructuras determinadas, asegurando la consistencia mensual y la agregación anual de la verdadera composición de la matriz de generación de energía eléctrica para los años evaluados.

De esta manera, se obtuvo una serie de datos mensual para la generación de electricidad por recursos renovables y no renovables para el período de estudio.

En relación a la generación con recursos renovables, se determinó que, además de aportar cerca de dos terceras partes del total de la producción de electricidad, presenta una relación inversa (negativa) al analizarse respecto del precio *spot*, derivado de las características de costos que presenta (menores en relación a los no renovables, los cuales dependen de los precios internacionales de los combustibles fósiles, susceptible a incrementar su participación en temporadas donde la generación hidráulica se ve afectada por la frecuencia de las lluvias), dando como resultado un precio *spot* con presiones a la baja cuando existen temporadas con un alto aporte de electricidad con fuentes verdes.

7.3. Objetivo II

Evaluar la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio, e inflación, respecto de la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.

Respecto a los precios de los combustibles fósiles (carbón y petróleo), se tomó como base los registros históricos mensuales publicados por FMI, donde se consideró para el carbón el promedio de los dólares por tonelada métrica de referencia para Australia y Sudáfrica; en el caso del petróleo un indicador que condensa los dólares por barril de los tres principales referentes en el mercado internacional (*Brent, WTI y Dubái Fateh*).

Es importante destacar que derivado de cambios en las publicaciones del FMI, no fue posible completar la serie de precios hasta diciembre 2021, por lo que fue necesario realizar una revisión de fuentes de información alternas.

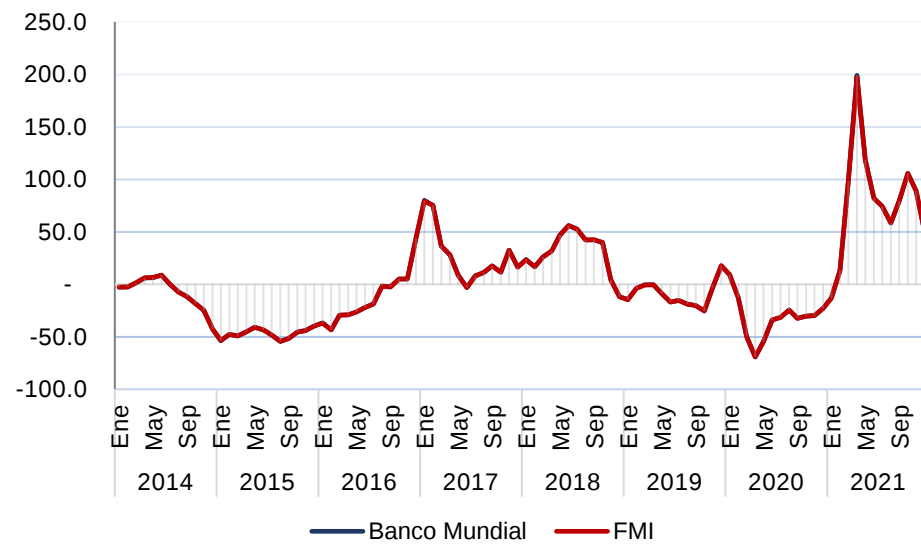
En este sentido, se consideró la serie histórica de los precios de las materias primas del Banco Mundial, tomando como referencia para el carbón el promedio simple de los dólares por tonelada métrica de referencia para Australia y Sudáfrica; en relación con el petróleo, el promedio simple de los tres principales precios del mercado internacional (*Brent, WTI y Dubái Fateh*). El factor de decisión utilizado para tomar como referencia la nueva fuente de información se fundamentó en analizar el coeficiente de correlación de Person entre las tasas de variación de ambas instituciones, para determinar si existe consistencia entre ambas series.

Como resultado se obtuvo coeficientes 0.99 para ambos indicadores, por lo tanto, se decidió considerarlo como donante para proceder a realizar un empalme de los meses restantes. En adición, se evaluó gráficamente la tendencia de las tasas de variación interanual de los indicadores de cada una de las instituciones, confirmando la consistencia de los datos.

A continuación, se presentan las figuras con la comparación de las tasas de variación interanual de los precios internacionales del carbón y el petróleo, mismas que facilitan la comprensión de la consistencia que ambas fuentes presentan.

Figura 6.

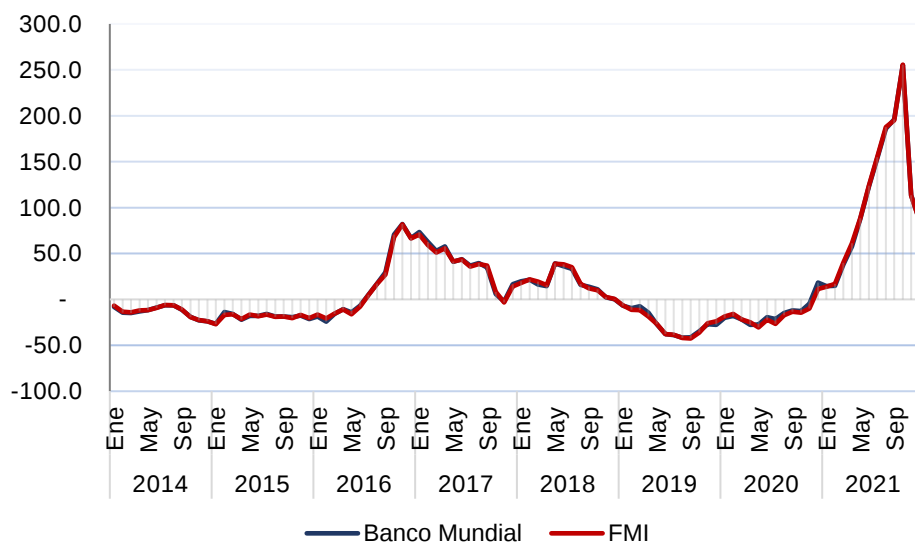
Precio del petróleo, comparación de tasas de variación



Nota. Elaboración propia, con base en información del Banco Mundial y FMI.

Figura 7.

Precio del carbón, comparación de tasas de variación



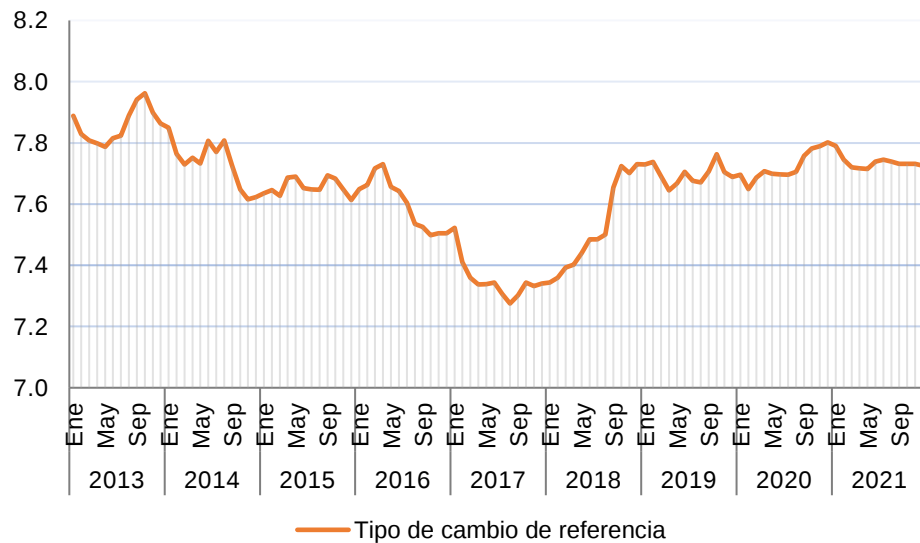
Nota. Elaboración propia, con base en información del Banco Mundial y FMI.

Respecto a los precios de los combustibles fósiles, se determinó que, tanto el carbón como el petróleo presentan una relación de tipo directa (positiva) cuando se relaciona con el precio *spot*, lo que sugiere un incremento en el costo operativo de las centrales de producción de electricidad con recursos no renovables, que finalmente repercute en el alza del precio según la participación de este segmento dentro de la matriz de generación eléctrica.

Asimismo, se compiló el tipo de cambio de referencia (dólares de Estados Unidos por cada unidad de quetzal, \$ 0.00/Q 0.00), para lo que se utilizaron las cifras publicadas por el Banco de Guatemala.

Figura 8.

Tipo de cambio, dólares de Estados Unidos de América por unidad de quetzal



Nota. Elaboración propia, con base en información del Banco de Guatemala.

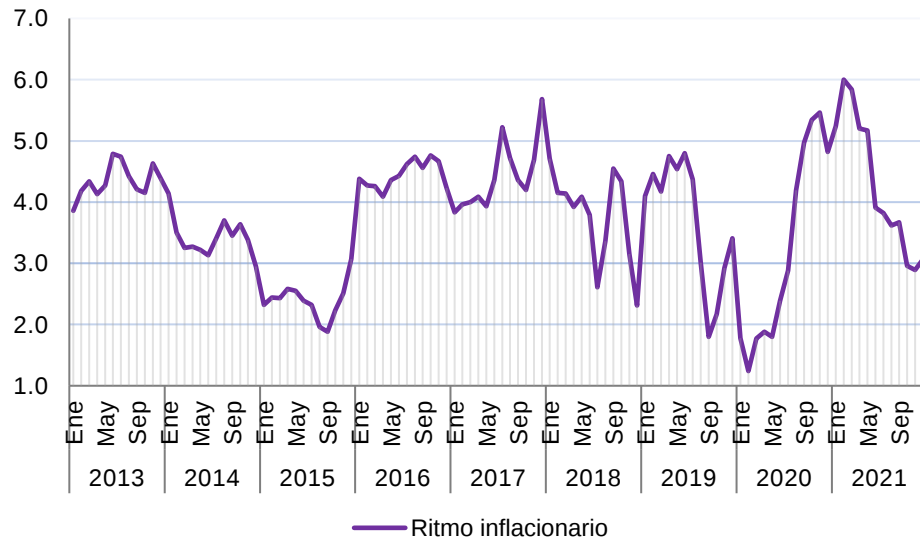
El tipo de cambio fue un parámetro de interés dentro del modelo debido a que las transacciones del mercado mayorista se encuentran valoradas en dólares, por lo que se consideró relevante incluirla dentro del análisis.

Por su parte, se determinó que esta variable presenta una relación directa respecto al precio *spot*, lo que significa que las fluctuaciones que muestre pueden llegar a asociarse con los incrementos observados en el precio.

Finalmente, para el ritmo inflacionario del país de manera mensual, se emplearon las cifras publicadas por el Banco de Guatemala.

Figura 9.

Ritmo inflacionario



Nota. Elaboración propia, con base en información del Banco de Guatemala.

Respecto a la inflación, se concluyó que muestra una relación de tipo inversa en contraste con el precio *spot*, lo que sugiere que, ante incrementos de este, el precio *spot* reporta disminuciones en su nivel. El resultado desencadenó una serie de probables conjeturas y explicaciones como las que se exponen a continuación:

El mercado mayorista se encuentra gestionado de tal manera que logra la optimización de cada una de las plantas generadoras a través del mecanismo de subasta inversa, donde son convocadas las centrales de menor costo hacia las de mayor, con el fin de minimizar el costo operativo total, factor que responde a una programación que se realiza considerando horizontes de tiempo (día/semana/mes/año), explicando el porqué de la composición de la matriz de electricidad del país predomine generación renovable (costos productivos

inferiores al no depender de los combustibles fósiles, donde este último al ser un insumo energético imprescindible en todas las cadenas productivas, es un factor de alta incidencia dentro de la inflación general).

La gestión coordinada permite que a medida que se presenten escenarios con presiones inflacionarios en el país, el mercado mayorista contrarresta parte del efecto a través de la subasta inversa, priorizando la electricidad más barata, propiciando el efecto inverso observado.

7.4. Objetivo III

Determinar la relación que existe entre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.

La lluvia dentro del país representa una variable con alta importancia para el análisis del precio *spot*, derivado que la generación de electricidad con recursos hidráulicos ha llegado a representar hasta un 75 % del total de lo generado con recursos renovables, siendo este dato para los años más favorables en relación con la temporada copiosa, mientras que en otros se ha llegado a disminuir su participación a un mínimo del 61 %; además ha suministrado en promedio el 45 % del total de lo producido dentro del territorio (estimación realizada sobre los años estudiados 2013 a 2021).

A continuación, se presenta la tabla con la relación existente entre la generación de electricidad y lo generado a partir de recursos hidráulicos en el país.

Tabla 5.*Relación entre la generación de electricidad y el recurso hidráulico*

Año	Generación GWh	Participación (%) Renovables	Participación (%) Recurso hidráulico
2013	9,270.5	66.21	50.0
2014	9,782.3	66.92	49.3
2015	10,301.9	57.93	37.4
2016	10,877.9	59.07	36.3
2017	11,489.9	69.89	50.2
2018	12,522.4	61.74	41.5
2019	12,228.2	57.91	35.8
2020	11,122.1	75.28	52.3
2021	11,943.1	71.37	49.9

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM.

Por lo tanto, se consideró relevante construir un indicador que suministre información sobre el estado del tiempo (referente a las lluvias) en el período estudiado, con el fin de dotar al modelo propuesto con otro elemento significativo. Para ello, se decidió elaborar una variable Dummy que indique en su parámetro 1 que las precipitaciones en el mes de análisis estuvieron dentro de bandas de normalidad hacia escenarios con condiciones muy favorables para la generación con recursos hidráulicos, mientras que el 0 representaría un escenario contrario.

Los registros de precipitación utilizados fueron recabados de dos fuentes de información, el primer segmento está compuesto por los datos diarios de 46 estaciones meteorológicas suministrados por el INSIVUMEH, el restante bloque de información corresponde a 38 estaciones del ICC, cubriendo una parte significativa de la totalidad de puntos de medición del país. A continuación, se detalla cómo fue construido el indicador.

- La información de ambas fuentes fue analizada, ordenada y resumida en tablas segmentadas en frecuencia mensual.
- Luego se totalizaron los milímetros de lluvia mensual de las 84 estaciones meteorológicas.
- Seguido se calculó la cantidad de milímetros de lluvia por día mm/d (considerando los años bisiestos, como medida de consistencia), para luego estimar los milímetros por hora mm/h.
- Se tomó como base la información calculada en mm/h para realizar un análisis de las medianas en frecuencia mensual para la serie. Se consideró como métrica la mediana, derivado que el valor de la media se encuentra afectado por los datos extremos, y puede ocasionar distorsiones, por lo tanto, la mediana resulta un mejor parámetro de referencia. Como resultado se obtuvo una mediana para cada mes del año, la cual se utilizó para realizar bandas de clasificación.
- Para graduar la variable Dummy se utilizaron los criterios descritos en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Criterios para evaluar

Tipo de mes	Mínimo	Máximo	Variable
Normal	80%	120%	1
Seco	40%	80%	0
Muy seco	>	40%	0
Lluvioso	120%	160%	1
Muy lluvioso	160%	<	1

Nota. Elaboración propia, con base en información suministrada por expertos de la materia.

La evaluación se realizó a partir de comparar los mm/h observados para cada uno de los meses de la serie respecto de la mediana de referencia encontrada. Para lo que se utilizaron los criterios descritos en la tabla anterior, con el fin de establecer las bandas clasificación para luego asignarle la categoría Dummy.

Finalmente, se obtuvo una serie de categorías cualitativas en frecuencia mensual, con la cual se puede establecer el tipo de mes, favorable o desfavorable para la generación de energía eléctrica con recursos hidráulicos (variable tiempo).

7.5. Objetivo general

Determinar la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad, a través del análisis de regresión lineal múltiple.

7.5.1 Estadística inferencial

Luego de ordenar, estandarizar, analizar y aprobar cada una de las series de datos seleccionadas (variables independientes y dependiente), se procedió a realizar un análisis de regresión lineal múltiple, con el fin de determinar las variables que explican la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad de Guatemala.

El análisis se inició considerando las siguientes variables:

- Dependiente: precio *spot* (Y).

- Independientes: generación de energía eléctrica con recursos renovables (X1), precio internacional del carbón (X2), precio internacional del petróleo (X3), tipo de cambio (X4), ritmo inflacionario (X5) y tiempo (X6).

El primer resultado obtenido fue la matriz de correlación, la cual se presenta a continuación:

Tabla 7.

Matriz de correlación, escenario inicial

Variable	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Y	1.00	(0.57)	0.05	0.79	0.44	(0.58)	(0.03)
X1	(0.57)	1.00	0.35	(0.20)	(0.14)	0.51	0.15
X2	0.05	0.35	1.00	0.32	(0.09)	0.41	0.13
X3	0.79	(0.20)	0.32	1.00	0.45	(0.44)	0.05
X4	0.44	(0.14)	(0.09)	0.45	1.00	(0.11)	0.03
X5	(0.58)	0.51	0.41	(0.44)	(0.11)	1.00	0.14
X6	(0.03)	0.15	0.13	0.05	0.03	0.14	1.00

Nota. Elaboración propia.

En la matriz se observa que el precio *spot* respecto de las variables independientes, muestra las siguientes interacciones: con relación a la generación de energía eléctrica a través del empleo de recursos renovables se observó una correlación negativa moderada de -57 %, 5 % para el precio del carbón (positiva muy baja), 79 % para el precio del petróleo (positiva alta), 44 % para el tipo de cambio (positiva moderada), -58 % para la inflación (negativa moderada) y finalmente -3 % para el tiempo (negativa muy baja).

Los resultados manifiestan señales favorables para la mayoría de las variables, derivado que se confirma que la generación con recursos renovables y el tiempo contribuyen en la disminución del precio *spot*, derivado de su

correlación negativa, además por contribuir con aportes de electricidad a un costo menor en relación con los que utilizan combustibles fósiles. Por el contrario, el precio internacional del carbón, petróleo, así como el tipo de cambio, contribuyen positivamente al comportamiento del precio, congruente al analizarlo desde la perspectiva de las estructuras de costos, a mayores niveles de estos, el mismo se traslada al precio *spot*. Por su parte, la inflación presenta un comportamiento particular, derivado que muestra una relación inversa respecto al precio *spot*, contrario al resultado esperado.

La ecuación encontrada en la evaluación del primer escenario es la siguiente:

$$Y = (84.2134) + (0.0001) X1 + 0.1070 X2 + 0.7369 X3 + 26.1710 X4 + (0.4065) X5 + 0.9458 X6$$

Cabe destacar los resultados obtenidos para las variables X5 y X6, debido que muestran valores diferentes a lo que se espera de manera intuitiva, de acuerdo con la relación que tienen con el precio *spot*. La inflación, de forma preliminar se asoció al resto de consumos que intervienen en el proceso productivo, de manera complementaria a los energéticos, asumiendo que su comportamiento dicta el de estos, asociando un indicador de precio para cada uno de los insumos de la producción, sin embargo, el efecto observado fue inverso al previsto, influyendo en una reducción de este en la medida que el indicador incrementa.

Por su parte, también se observó un efecto contrario al obtenido para la variable tiempo, donde se esperó que contribuyera a minimizar el precio *spot*, a causa de la influencia favorable que este representa para la generación con recursos renovables, principalmente, la generada con recursos hidráulicos.

Seguido, se continuó con la evaluación de los parámetros restantes para establecer la validez del modelo, así como la identificación y exclusión de todas aquellas variables que no contribuyan de manera favorable con la explicación de este.

A continuación, se muestra la tabla con el contraste global del modelo.

Tabla 8.

Análisis de la varianza (ANOVA), escenario inicial

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Valor estadístico Ft	Valor estadístico Fc
Regresión	6	80,062.30	13,343.72	73.38	2.19
Residuo	101	18,365.75	181.84		
Total	107	98,428.05	13,525.56		

Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que derivado del resultado para el valor estadístico teórico (Ft), el cual es mayor al calculado (Fc), se rechaza la hipótesis nula (Ho), por lo tanto, se concluye que existe significancia estadística en el modelo de regresión. Este análisis permitió establecer que la varianza refleja significancia en el modelo en construcción, en función a que la variable precio *spot* depende de al menos una o la totalidad de las variables independientes propuestas, lo que sugiere que el mismo es válido en su contraste global.

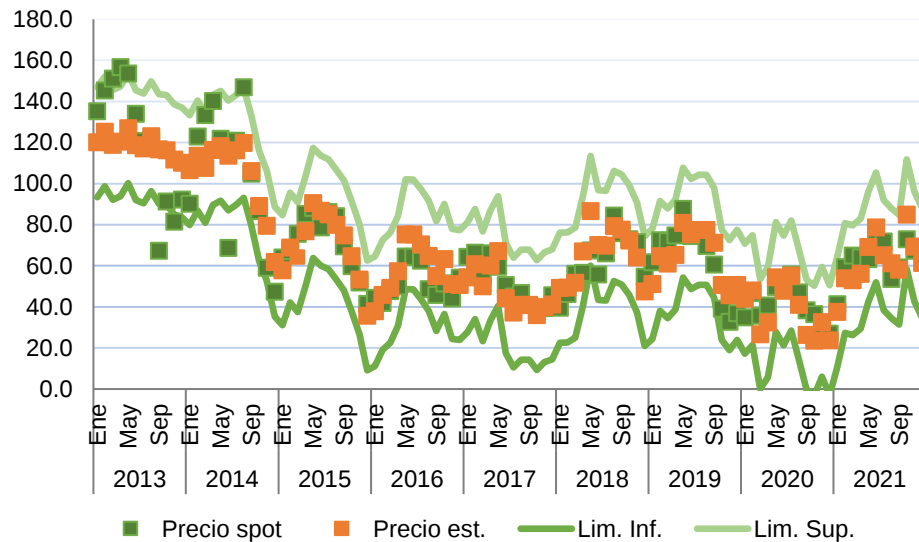
Asimismo, se estableció que el modelo cuenta con un coeficiente de determinación (R^2) 0.81, lo que indica que en un 81 % la variación de los precios spot se encuentra explicada por la ecuación de regresión lineal múltiple planteada (escenario 1). Por su parte, el coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.)

corresponde a 0.80, donde se observa una reducción en 0.01 respecto del R^2 , por lo tanto, se concluye que los datos empleados muestran un ajuste moderado al momento de evaluar el indicador que excluye el efecto de la agregación de las variables del modelo.

En relación con el error estándar de la estimación para el modelo, se determinó, que el mismo es equivalente a \$ 13.48 MWh, asimismo, se estableció una T de *Student* equivalente a 1.98. Por su parte, empleando los resultados descritos con anterioridad, se procedió a calcular los intervalos de confianza con los límites superiores e inferiores, construyendo la gráfica de intervalos de confianza aproximados, de manera que se pueda evaluar de forma visual la interacción que existe entre los datos observados y la estimación sugerida por el modelo. A continuación, se presenta la figura con los intervalos de confianza establecidos.

Figura 10.

Intervalo de confianza aproximado, escenario inicial



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se observa que la mayor parte de las observaciones de precios spot se encuentran dentro de los intervalos de confianza, además, el precio estimado presenta una distribución cercana a los datos reales, por lo tanto, se puede concluir que los resultados del modelo visualizados de manera gráfica presentan un comportamiento consistente.

Finalmente, se evaluó el contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple planteado. A continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 9.*Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenario inicial*

Parámetro	Valor	Error típico	Tc	Tt
X1: generación con RN	(0.000085)	0.000011	7.63	1.98
X2: precios del carbón	0.106978	0.080900	1.32	1.98
X3: precios del petróleo	0.736887	0.103784	7.10	1.98
X4: tipo de cambio	26.171018	10.630552	2.46	1.98
X5: inflación	(0.406490)	0.171751	2.37	1.98
X6: tiempo	0.945778	3.294931	0.29	1.98

Nota. Elaboración propia.

La regla de decisión indica que de existir un valor de T calculado (T_c) superior al T teórico (T_t), se rechaza la H_0 , por lo tanto, se establece que el parámetro evaluado es una variable explicativa significativa, caso contrario se acepta la H_0 . La tabla muestra un resultado desfavorable para las variables X2 y X6, por lo que, el siguiente paso en la secuencia de análisis del modelo debe ser la evaluación de este excluyendo las mismas.

Sin embargo, con base en las estadísticas de generación de energía eléctrica del país, se tiene conocimiento que la generación de electricidad con recursos no renovables con mayor representatividad de la última década ha sido la que emplea como recurso energético el carbón, que en promedio ha representado cerca del 69.5 % de este segmento, donde se observó para 2021 un incremento que llegó a alcanzar el 83.9 %. Por lo tanto, se considera una variable explicativa relevante para el modelo propuesto. El precio internacional del petróleo guarda una relación cercana con el carbón, pero se considera importante introducir ambas variables de manera independiente, por tal razón, es necesario la evaluación de otras alternativas para determinar la relevancia antes de su exclusión.

Considerando como parámetro de análisis los inventarios de combustibles con los que deben de contar los generadores que emplean recursos no renovables para asegurar la generación de electricidad en el corto plazo, se evaluaron escenarios alternos en donde se propuso rezagar los precios de estos recursos hasta por tres meses, asumiendo que las demás variables propuestas se mantienen constantes.

El análisis parte del siguiente supuesto: el recurso energético que es utilizado en la producción de electricidad de un período de tiempo determinado, no necesariamente se encuentra valorado o influenciado por el precio internacional de referencia del mismo período. El mercado de recursos energéticos se caracteriza por su dinamismo y volatilidad. Por tal razón, el productor tiende a asegurar su abastecimiento a través de compras anticipadas, por lo tanto, se sugiere que en la práctica se traslada el efecto de la tendencia promedio en los precios de los recursos adquiridos, con al menos un rezago de los últimos meses.

Este puede modificarse, principalmente al alza, derivado de presiones en las expectativas de abastecimiento futuro del productor, en donde es natural un incremento significativo de este, a consecuencia de las señales de mercado provocadas por la oferta y demanda. Por lo que, los inventarios dentro del territorio guatemalteco que se encuentran disponibles para ser utilizados, en esencia, se encuentran valorados a precios rezagos a los de referencia de cualquier período de tiempo analizado.

De acuerdo con los supuestos antes mencionados, se presenta la siguiente tabla con los principales resultados obtenidos para los tres escenarios analizados.

Tabla 10.*Escenarios alternos rezagando los precios de los combustibles fósiles*

Rezago	ANDEVA	R² aj.	Error estándar
Un mes	Existe significancia en el modelo de regresión	0.80	13.56
Dos meses	Existe significancia en el modelo de regresión	0.79	14.04
Tres meses	Existe significancia en el modelo de regresión	0.77	14.60

Nota. Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa que todos los escenarios evaluados mostraron resultados en donde la F_t fue mayor a la F_c , por lo que se rechazó H_0 y se concluyó que existe significancia en los modelos de regresión al menos en su contraste global. Por su parte, el R^2 aj. al ser comparado con el resultado obtenido en el escenario inicial, muestra una baja entre 0.01 y 0.02 en la medida que se fue rezagando cada mes, aún con la baja observada, los escenarios continúan siendo considerables para el modelo. Respecto al error estándar, se evaluó que no varió de forma significativa en relación con el inicial.

Asimismo, se evaluó nuevamente cada uno de los parámetros de regresión lineal múltiple de cada escenario, con el fin de establecer la significancia para cada una de las variables y así determinar si es posible incorporar al menos el precio internacional del carbón dentro del modelo propuesto. En la siguiente tabla se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 11.*Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenarios alternos*

Parámetro	Valor	Error típico	Tc	Tt
Modelo con rezago de un mes				
X1: generación con RN	(0.000089)	0.000011	8.03	1.98
X2: precios carbón	0.191196	0.082430	2.32	1.98
X3: precios petróleo	0.653752	0.104667	6.25	1.98
X4: tipo de cambio	30.778162	10.773569	2.86	1.98
X5: inflación	(0.455367)	0.174582	2.61	1.98
X6: tiempo	2.435320	3.303118	0.74	1.98
Modelo con rezago de dos meses				
X1: generación con RN	(0.000088)	0.000011	7.70	1.98
X2: precios carbón	0.288322	0.084762	3.40	1.98
X3: precios petróleo	0.531418	0.109113	4.87	1.98
X4: tipo de cambio	38.101172	11.191827	3.40	1.98
X5: inflación	(0.566051)	0.185745	3.05	1.98
X6: tiempo	3.270720	3.418651	0.96	1.98
Modelo con rezago de tres meses				
X1: generación con RN	(0.000082)	0.000012	6.85	1.98
X2: precios carbón	0.440745	0.102962	4.28	1.98
X3: precios petróleo	0.375941	0.119710	3.14	1.98
X4: tipo de cambio	48.900011	12.078964	4.05	1.98
X5: inflación	(0.721137)	0.203002	3.55	1.98
X6: tiempo	2.666744	3.554354	0.75	1.98

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se observa que todos los escenarios adicionaron como variable explicativa el precio internacional del carbón (X2), que se considera un resultado favorable para el modelo, derivado de la importancia expuesta. Sin embargo, el parámetro tiempo (X6) no obtuvo la aceptación esperada dentro de la evaluación realizada. Considerando los resultados de la evaluación propuesta para los precios de los combustibles fósiles, se consideró

apropiado seleccionar el escenario en donde el modelo sugiere dos meses de rezago, debido que es un punto medio del grupo analizado.

Asimismo, se excluyó como variable explicativa el parámetro X6 (tiempo). Lo siguiente consistió en realizar nuevamente el análisis del modelo con las variables significativas. A continuación, se muestra la matriz de correlación del nuevo modelo.

Tabla 12.

Matriz de correlación, escenario final

Variable	Y	X1	X2	X3	X4	X5
Y	1.00	(0.57)	0.16	0.76	0.44	(0.58)
X1	(0.57)	1.00	0.26	(0.21)	(0.14)	0.51
X2	0.16	0.26	1.00	0.32	(0.07)	0.34
X3	0.76	(0.21)	0.32	1.00	0.45	(0.50)
X4	0.44	(0.14)	(0.07)	0.45	1.00	(0.11)
X5	(0.58)	0.51	0.34	(0.50)	(0.11)	1.00

Nota. Elaboración propia.

Entre los aspectos más relevantes de la matriz se resalta que el precio spot respecto de las variables independientes propuestas muestran las siguientes particularidades: en relación con la generación de energía eléctrica a través del empleo de recursos renovables se observó una correlación negativa moderada de -57 %, 16 % para el precio del carbón (positiva muy baja), 76 % para el precio del petróleo (positiva alta), 44 % para el tipo de cambio (positiva moderada) y finalmente -58 % para la inflación (negativa moderada).

La ecuación determinada para este escenario es la siguiente:

$$Y = (160.1401) + (0.0001) X1 + 0.2933 X2 + 0.5291 X3 + 38.7701 X4 + (0.5619) X5$$

A diferencia del modelo determinado en el escenario uno, el resultado preliminar del nuevo análisis muestra señales favorables, debido que luego de realizar una evaluación general de los valores de la ecuación, especialmente en la variable X2, que reportó un cambio significativo en el signo, que evidenció el resultado que intuitivamente se esperaba para este parámetro, en donde se establece que a medida que este parámetro incrementa, así lo hará el precio spot. A continuación, se muestra la tabla con el contraste global del modelo.

Tabla 13.

Análisis de la varianza (ANOVA), escenario final

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	Valor estadístico Ft	Valor estadístico Fc
Regresión	5	78,329.28	15,665.86	79.50	2.30
Residuo	102	20,098.77	197.05		
Total	107	98,428.05	15,862.90		

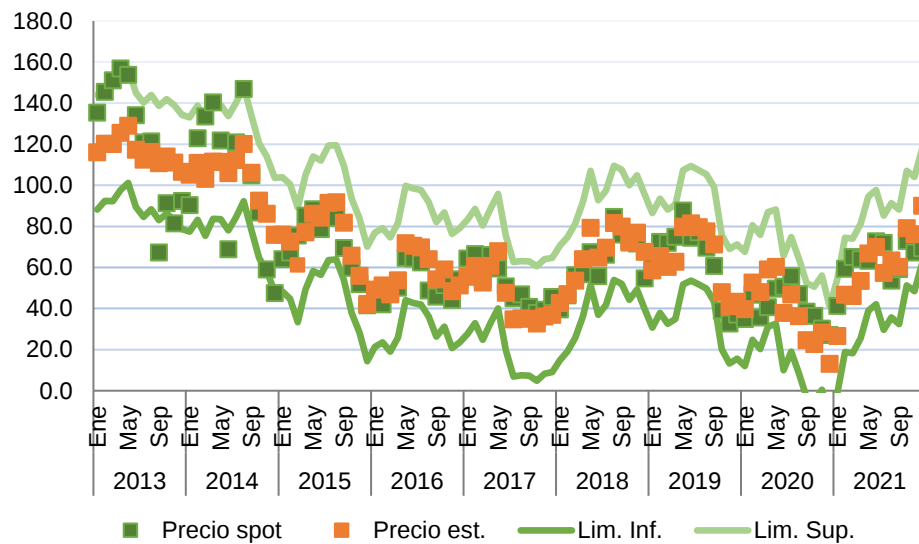
Nota. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que derivado que el valor de Ft es mayor al Fc, se rechaza la Ho, por lo tanto, se asevera que existe significancia en el modelo de regresión propuesto, en función a que los precios spot dependen al menos de una o de la totalidad de las variables independientes analizadas, por lo que se puede indicar que el mismo es válido en su contraste global. Por su parte, se determinó que el modelo cuenta con un coeficiente de determinación de (R^2) 0.80, que indica que en un 80 % la variación de los precios spot se encuentra explicada por la ecuación de regresión lineal múltiple planteada (escenario final). Asimismo, el coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj.) es equivalente a 0.79, donde se observa una reducción en 0.01 respecto del R^2 , por lo que se concluye que los datos muestran un ajuste moderado al momento de evaluar el parámetro que excluye el efecto de la agregación de las variables.

Respecto al error estándar del modelo, se estableció que el mismo es equivalente a \$ 14.04 MWh, seguido se estableció una T de *Student* de 1.98. Utilizando los resultados anteriores, se estimaron las bandas con los límites superiores e inferiores, con el objetivo de elaborar la gráfica de intervalos de confianza aproximados, de tal forma que se pueda evaluar de manera gráfica la relación entre los datos observados y la estimación sugerida por el modelo propuesto. A continuación, se presenta la figura con los intervalos de confianza.

Figura 11.

Intervalo de confianza aproximado, escenario final



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se visualiza que dentro de los intervalos de confianza se encuentra la mayor parte de las observaciones de precios *spot*, asimismo, el precio estimado presenta una distribución cercana a los datos originales, por lo que se puede indicar que los resultados obtenidos por el modelo propuesto

guardan consistencia al ser evaluados en su representación gráfica. Finalmente, se analizó el contraste para cada parámetro de la regresión lineal múltiple.

A continuación, se presenta la tabla con los resultados alcanzados.

Tabla 14.

Contraste para cada parámetro de regresión lineal múltiple, escenario final

Parámetro	Valor	Error típico	Tc	Tt
X1: generación con RN	(0.000087)	0.000011	7.65	1.98
X2: precios carbón	0.293313	0.084566	3.47	1.98
X3: precios petróleo	0.529056	0.109040	4.85	1.98
X4: tipo de cambio	38.770106	11.165328	3.47	1.98
X5: inflación	(0.561941)	0.185619	3.03	1.98

Nota. Elaboración propia.

Luego de aplicar la regla de decisión a cada uno de los parámetros, se determinó que, debido al resultado obtenido para las Tc, las cuales son superiores a Tt, se concluye con el rechazo de la Ho; por lo tanto, se establece que todos los parámetros evaluados son variables explicativas significativas para el modelo de regresión lineal múltiple. Finalmente, derivado de los favorables resultados obtenidos en el análisis del modelo estadístico propuesto, se concluyó con la aprobación de la ecuación determinada, misma que se presenta a continuación.

$$Y = (160.1401) + (0.0001) X1 + 0.2933 X2 + 0.5291 X3 + 38.7701 X4 + (0.5619) X5$$

7.5.2 Evaluación de supuestos del modelo estadístico

A continuación, se presentan los resultados obtenidos luego de analizar los supuestos de linealidad, normalidad, independencia, homocedasticidad y heteroscedasticidad del modelo estadístico.

Linealidad

- Este supuesto no fue evaluado, debido que el análisis realizado corresponde a un modelo de regresión lineal múltiple.

Normalidad

- Se procedió a realizar la prueba de normalidad del modelo para determinar si la distribución es cercana a la normal, para ello se realizó la prueba de Kolmogorov Smirnov, derivado que se cuenta una muestra de datos superior a 50, para lo cual se evaluó la siguiente expresión.

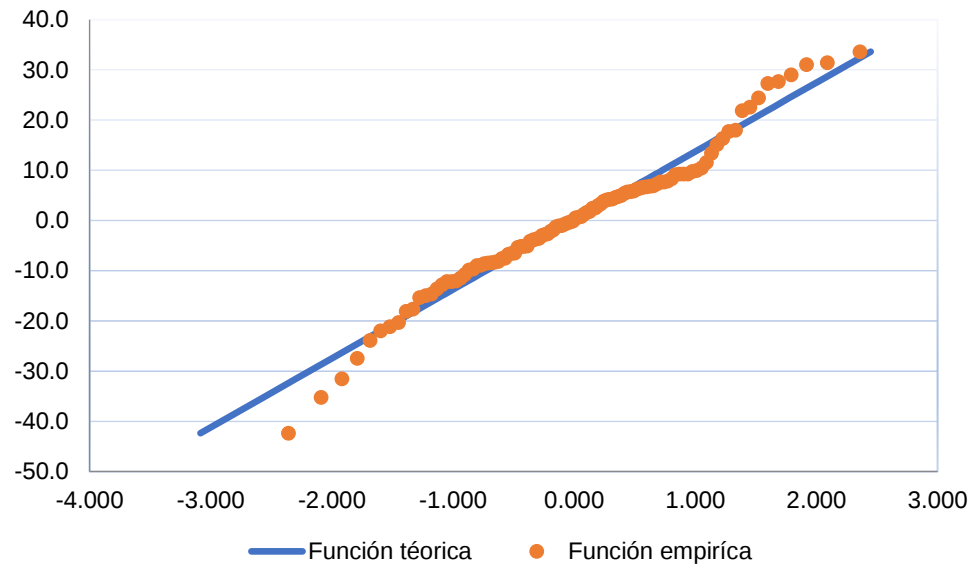
$$W = \frac{C \propto}{Kn}$$

De acuerdo con la tabla de valores de Kolmogorov Smirnov se seleccionó el valor que establece un modelo normal con significancia de 0.05, el cual dio como resultado un $C \propto$ de 0.895, el cual se asoció a un Kn de 10.464. De acuerdo con el resultado, se determinó un W calculado (W_c) 0.09 y un W teórico de (W_t) de 0.09, por lo tanto, al tener un W_c que no es mayor que W_t se acepta la H_0 , indicando que los errores siguen una distribución normal.

- Asimismo, se realizó una segunda comprobación a través de la gráfica de Q-Q *Plot.*, que se presenta a continuación.

Figura 12.

Q-Q Plot



Nota. Elaboración propia.

Luego de analizar la figura se comprueba que la mayoría de los datos analizados se encuentran alrededor de la distribución teórica (función teórica), por lo tanto, se concluye que derivado de los resultados obtenidos se comprueba que gráficamente se cumple el supuesto de normalidad.

Independencia

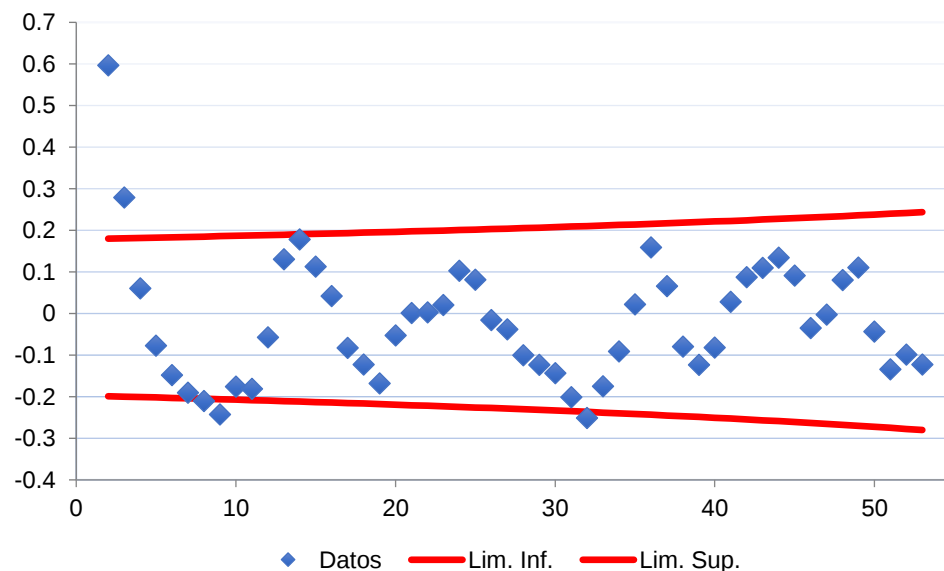
- Por su parte, se procedió a elaborar la gráfica de residuos y predichos, para la cual se construyeron los límites a través de la siguiente expresión.

$$Límites = \frac{-1 \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{n - k - 1}}{n - k}$$

En la elaboración de los límites superiores e inferiores se consideró un nivel de significancia de 0.05, los resultados se presentan en la siguiente figura.

Figura 13.

Residuos y predichos



Nota. Elaboración propia.

La figura permite visualizar que el comportamiento de los datos no muestra presencia de patrones, por su parte, para la construcción de este se analizaron 52 registros, de los cuales cuatro se localizan fuera de los límites, dando como resultado un 92 % de estos dentro de los intervalos de confianza, por lo tanto, derivado que el porcentaje determinado es superior al 90 % de referencia, se concluye que existe independencia en la serie evaluada, por lo que se cumple con este supuesto.

Homocedasticidad

- Para la comprobación de este supuesto se procedió a realizar la prueba F de Snedecor, a través de la siguiente expresión.

$$F = \frac{S1^2}{S2^2}$$

Luego de realizar las agrupaciones correspondientes, se procedió con el cálculo de las varianzas para cada segmento, donde el resultado fue un Fc de 2.98 (283.42/95.05), así como un Ft de 1.58. La regla de decisión indica que de existir un valor de Fc inferior al Ft, se acepta la Ho; sin embargo, debido que el Fc fue superior al Ft, se rechaza la Ho y se comprueba la existencia de heterocedasticidad, en donde se establece la existencia de una diferencia significativa dentro de las varianzas del modelo, por lo que se concluye que no se cumple con este supuesto.

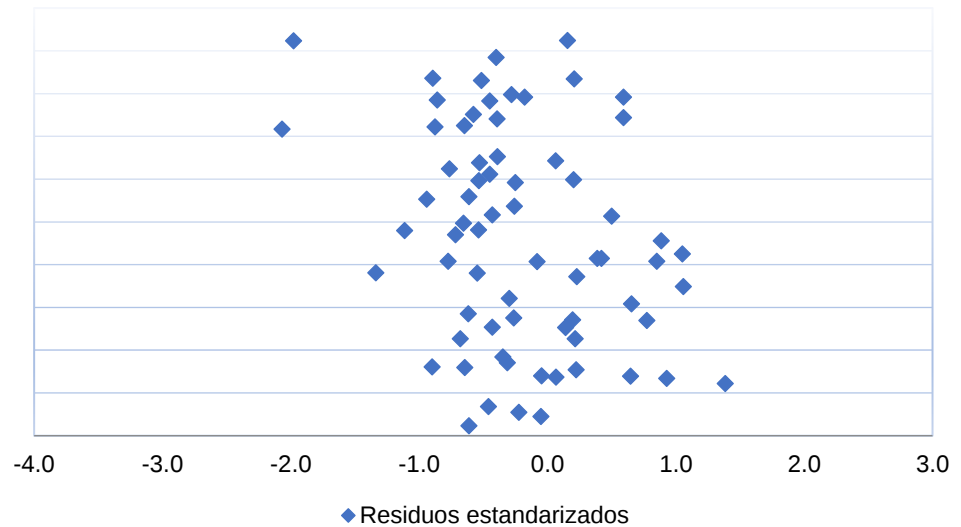
- Por su parte, se elaboró la gráfica de residuos estandarizados, para ello se utilizó la siguiente expresión.

$$Z = \frac{\varepsilon i - \bar{x}\varepsilon}{S\varepsilon}$$

A continuación, se presenta la figura con los resultados obtenidos.

Figura 14.

Residuos estandarizados



Nota. Elaboración propia.

En esta figura se comprueba que no existe un patrón determinado en el comportamiento de los residuos estandarizados, por lo tanto, según la regla de decisión se acepta la H_0 y se concluye lo siguiente: no existe diferencia significativa entre las varianzas de los grupos. El resultado obtenido sugiere la existencia de homocedasticidad, por lo que se cumple con este supuesto.

Homogeneidad

- Para la comprobación de este supuesto se procedió a realizar la prueba T de *Student*, a través del desarrollo de la siguiente expresión.

$$T_c = \left| \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\left(\frac{(S_1^2 * n_1) + (S_2^2 * n_2)}{n_1 + n_2 - 2} \right) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \right|$$

El resultado obtenido para T_c fue de 0.45, el cual fue analizado respecto de un T_t de 1.98, en donde se evaluó que al tener un T_c menor a T_t , se concluye que el valor promedio de los errores se encuentra cercano a 0, por lo tanto, se acepta la H_0 y se comprueba el supuesto de homogeneidad del modelo. Este resultado indica que no existen cambios significativos en la media de las varianzas de los datos analizados, dando lugar a una serie consistente y homogénea.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de la evaluación de cada uno de los supuestos del modelo, se determinó que, la mayor parte de estos mostraron resultados favorables, principalmente, en normalidad e independencia, por lo que se concluyó que el modelo desarrollado puede ser utilizado para explicar el comportamiento de los datos, así como para aplicar inferencia estadística. Asimismo, se estudió el nivel de predicción de este para los meses de enero a agosto del año 2022, para lo cual se construyeron escenarios en donde se plantearon supuestos de comportamiento esperado para los parámetros que lo conforman.

A continuación, se presenta el análisis interno y externo realizado. En el primero, se construyeron escenarios probables como complemento a los resultados obtenidos por el modelo, con el fin de evaluar el nivel de predicción de este, además de proveer bandas de ajuste para incrementar el nivel de certeza en las estimaciones. En el segundo, se evaluaron los resultados de la investigación realizada en contraste con las experiencias internacionales, con el objetivo de identificar nuevas líneas de estudio que sirvan de referencia para la academia e investigadores.

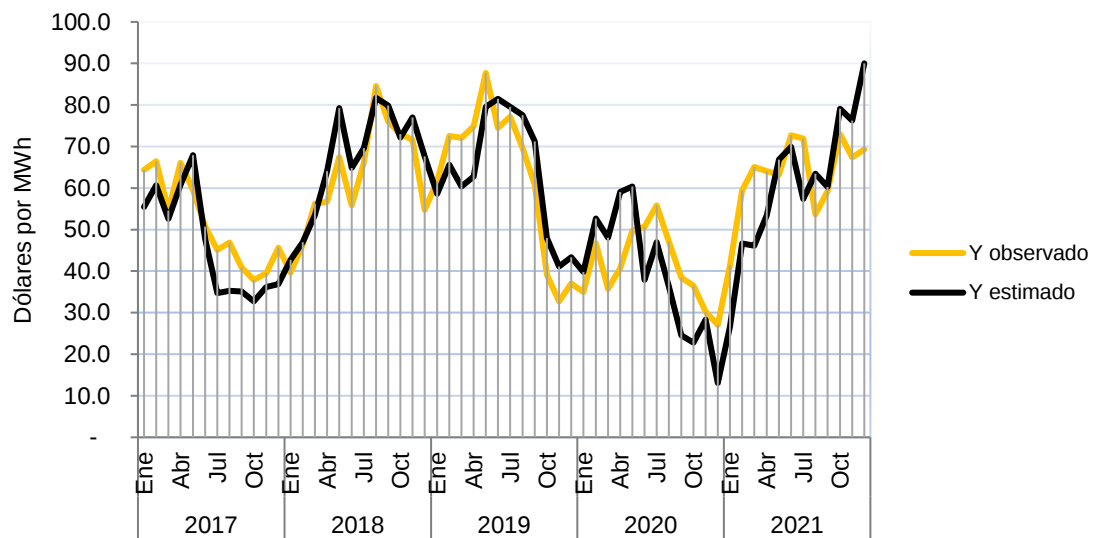
8.1. Análisis interno

Se plantearon tres escenarios probables para cada uno de los parámetros del modelo (bajo, medio y alto), con el objetivo de crear una banda en la que pueda oscilar el comportamiento observado respecto del estimado, de tal manera que se pueda analizar de manera gráfica la certeza de la predicción, así como

analizar las brechas existentes. A continuación, se muestra la figura del precio observado con relación al estimado por el modelo.

Figura 15.

Comportamiento del precio spot



Nota. Elaboración propia.

En la figura se aprecia que ambos indicadores de precios muestran tendencias similares, sin embargo, se observa que en algunos meses se amplía la brecha entre las series, lo cual se atribuye al 20.42 % de la variabilidad que el modelo no logró recoger y explicar.

Asimismo, en seguimiento a los trabajos de comprobación del modelo, a continuación, se detallan los criterios considerados previo al planteamiento de los supuestos de cada uno de los escenarios.

- X1, para la generación con energía renovable se evaluaron las tasas de variación que ha presentado la serie de datos analizada para el modelo.

- X2 y X3, en relación con los precios internacionales de los combustibles fósiles, se tomó como referencia los precios pronosticados por el Banco Mundial en el informe *Commodity Markets Outlook*, en su edición a octubre 2021.
- X4, para el tipo de cambio se evaluó el comportamiento de las variaciones anuales con el fin de incorporar al modelo la tendencia que se ha registrado en los últimos años.
- X5, finalmente para la inflación se consideraron las expectativas publicadas por el Banco de Guatemala en el Informe de Política Monetaria en su edición a septiembre 2021.

En relación con los datos tomados a partir de informes oficiales, se consideraron las publicaciones previas al inicio del año 2022, con el objetivo de incorporar al modelo las expectativas que se previeron para dicho período, de tal manera que pueda ser contrastado con el comportamiento real observado y de esa manera poder evaluar las brechas que se presenten.

En la siguiente tabla se detallan los valores estimados para cada uno de los parámetros del modelo, seguido de la interpretación de los supuestos considerados para la construcción de cada uno de los escenarios.

Tabla 15.*Expectativas de comportamiento para 2022, variaciones porcentuales (%)*

Escenario	X1	X2	X3	X4	X5
	MWH Renovable	US\$ Tonelada	US\$ Barril	Q*\$ TC	IPC Inflación
Bajo	-15.16	9.81	16.34	0.48	3.00
Medio	2.53	74.81	51.34	0.96	4.00
Alto	15.16	139.81	86.34	1.44	5.00

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM, Banco Mundial y Banco de Guatemala.

X1, para estimar el comportamiento esperado en la generación de electricidad con recursos renovables, se tomó como punto de referencia las tasas de crecimiento en frecuencia anual de la serie analizada. Se determinó que la mediana de las variaciones era de 2.53 %, por lo que se consideró como escenario medio, por su parte, se analizó el promedio de las tasas máximas y mínimas, que luego se relacionaron en términos absolutos con la mediada observada, en donde se encontró que en ambos casos habían representado una media de hasta seis veces esta tasa. Por lo tanto, estos resultados se tomaron como referencia para la construcción de los restantes (bajo y alto), donde se consideró el número de veces con relación a la mediana determinada, diferenciados por el signo que le corresponde a cada una.

X2 y X3, los precios internacionales de los combustibles fósiles se modelaron de acuerdo con las expectativas esperadas por el Banco Mundial para el año 2022, donde se tuvo previsto para el precio del carbón una disminución de 14.3 % (130.3 % en 2021), asociado a una recuperación en la oferta mundial luego de los efectos de la pandemia de la COVID-19, así como la estabilización del precio luego de observar crecimientos históricos en más de una década, además de perspectivas en la estabilización y reducción de la demanda de estos

productos energéticos. Por su parte, para el petróleo se espera un crecimiento de 5.7 % (69.5 % en 2021), previendo una estabilización de este, a causa de la normalización esperada en relación con los niveles de demanda mundial cercanos a prepandemia.

Estas expectativas fueron tomadas como base para la construcción del escenario bajo. Luego de esto se calculó un precio rezagado similar al utilizado en el modelo a nivel mensual, para ello se consideró el supuesto que al menos los primeros dos meses del año se consumen inventarios valorados a precios del año 2021 y el restante a precios de 2022. El resultado de la suma ponderada fue un crecimiento de 9.81 % para el carbón y 16.34 % del petróleo. Para los escenarios medio y alto se tomó como referencia la variación total del año anterior, en donde se plantea un escenario escalonado que supone que el escenario bajo podría presentar adicional a su comportamiento hasta un 50 % la tasa del año previo (medio), con una probabilidad de llegar al 100 % en su punto más alto, explicado por la alta volatilidad que estos pueden llegar a presentar, lo cual se encuentra asociado al panorama social, económico y ambiental a nivel mundial.

X4, en relación con el tipo de cambio se tomó como escenario medio el comportamiento de los últimos tres años, el cual ha mostrado una tendencia a la apreciación del dólar respecto del quetzal, por lo que se esperan condiciones similares para el año 2022, en promedio dicho crecimiento fue de 0.96 %. Para el escenario bajo se supone que podría estar un 50 % por debajo al medio y el alto un 50 % por arriba del mismo (0.48 % y 1.44 respectivamente).

X5, finalmente para la inflación se consideraron los pronósticos para el año 2022, de acuerdo con lo publicado en el *Informe de Política Monetaria*, en donde se previó para tal período que a diciembre fuese de 4.0 % como valor central

(escenario medio), +/- 1 % (escenario alto y bajo, 5 % / 3 %). En el mismo informe se advierte que “no obstante, debe considerarse también la incertidumbre inherente a todo proceso de pronóstico, además de algunos riesgos para la trayectoria de la inflación que podrían incidir en las proyecciones y expectativas de la misma (Banco de Guatemala, 2021, pág. 54).”, tal ampliación se considera importante derivado de las limitaciones propias del estudio desarrollado.

Luego del planteamiento de los supuestos, se realizaron los cálculos de cada uno de los parámetros del modelo aplicando las tasas de variación para el período sujeto a estimación. Por su parte, también se estimó el precio con las variables ya observadas hasta el mes de agosto de 2022, con el fin de contrastar todos los elementos gráficamente y así analizar los resultados con una mayor determinación. A continuación, se presenta la tabla con los datos observados al mes de estimación.

Tabla 16.

Datos observados

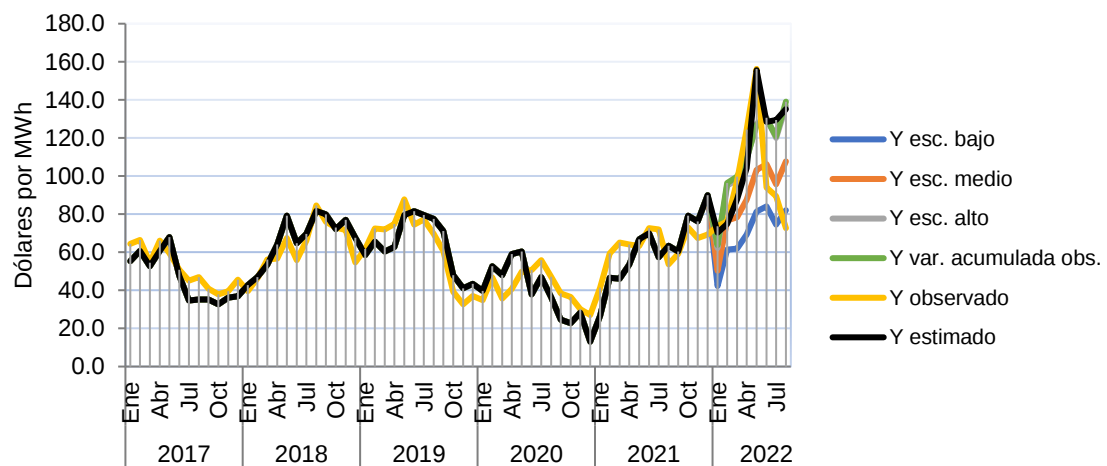
Año	Mes	X1	X2	X3	X4	X5
		MWH Renovable	US\$ Tonelada	US\$ Barril	Q*\$ TC	IPC Inflación
2022	Enero	759,250.17	141.13	80.17	7.70	153.14
	Febrero	713,091.86	158.14	72.91	7.70	153.79
	Marzo	723,650.32	190.78	83.74	7.69	156.09
	Abril	675,315.49	220.71	93.55	7.66	156.93
	Mayo	496,927.92	311.79	112.39	7.67	158.98
	Junio	797,494.06	321.58	103.38	7.74	161.89
	Julio	823,203.48	323.22	109.99	7.74	163.64
	Agosto	869,748.37	347.49	116.80	7.73	164.76

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM, Banco Mundial y Banco de Guatemala.

Las cifras acumuladas hasta el mes de estimación muestran los siguientes comportamientos: para la generación de electricidad con recursos renovables se observó un crecimiento de 5.8 %, el precio internacional del carbón y petróleo reportaron una tasa de 169.7 % y 64.4 respectivamente, el tipo de cambio mostró una caída de 0.4 %, así como un ritmo inflacionario de 5.7 %. A continuación, se presenta una figura con el comportamiento del precio *spot*.

Figura 16.

Comportamiento del precio spot, escenarios



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se observa el comportamiento de cada uno de los escenarios construidos (bajo, medio y alto), el estimado utilizando variables observadas, otro con la variación acumulada observada (var. acumulada obs. / acumulado) y el precio observado (real). Con la elaboración de escenarios se logró crear bandas en la que fuese posible observar donde oscilaría el precio estimado a través del modelo; sin embargo, es importante resaltar el componente estacional de cada uno de los parámetros, derivado que tanto los escenarios propuestos como el calculado a través de la variación acumulada observada,

consideran la variación determinada como fija para cada uno de los meses pronosticados, que puede influir en los resultados estimados para la frecuencia mensual, esperando una corrección del mismo a nivel anual.

Por su parte, se observa que entre los meses de enero a mayo los resultados estimados por el modelo se encuentran cercanos a los precios observados, sin embargo, a partir de junio se detectó una separación.

En la figura 15 se visualiza la serie histórica de ambos precios (estimado y observado), donde se comprueba que han existido períodos en donde el modelo no logró ajustarse por completo a los precios observados en la realidad (brechas que se explican por la parte que el modelo no logró inferir, R^2 0.80). Además, es importante resaltar que los meses estimados restantes, en su mayoría, se encuentran localizados dentro de las bandas construidas, que refleja que en promedio el precio anual estimado se encuentra dentro de las expectativas previstas. Asimismo, se resalta la alta relación que existe entre escenario alto y el acumulado, donde se concluye que, en la realidad, las expectativas de este escenario se encuentran altamente correlacionadas con los datos reales (acumulados al mes de estimación).

A continuación, se presenta la tabla con los precios y variaciones en frecuencia anual de cada uno de los escenarios construidos en relación con los datos observados (variación del precio *spot* promedio de 2022 respecto de 2021, cifras de enero a agosto de cada año).

Tabla 17.

Precio y variación del precio spot, promedio de enero a agosto del año 2022

Escenario	US\$*MWH Precio spot	(%) Variación¹
Observado	98.04	59.59
Alto	109.92	104.28
Medio	88.25	64.00
Bajo	69.61	29.37
Estimado	110.74	105.79
Acumulado	110.74	105.79

Nota. Elaboración propia. ^{1/} Variación del precio spot promedio de 2022 respecto de 2021 (de enero a agosto de cada año).

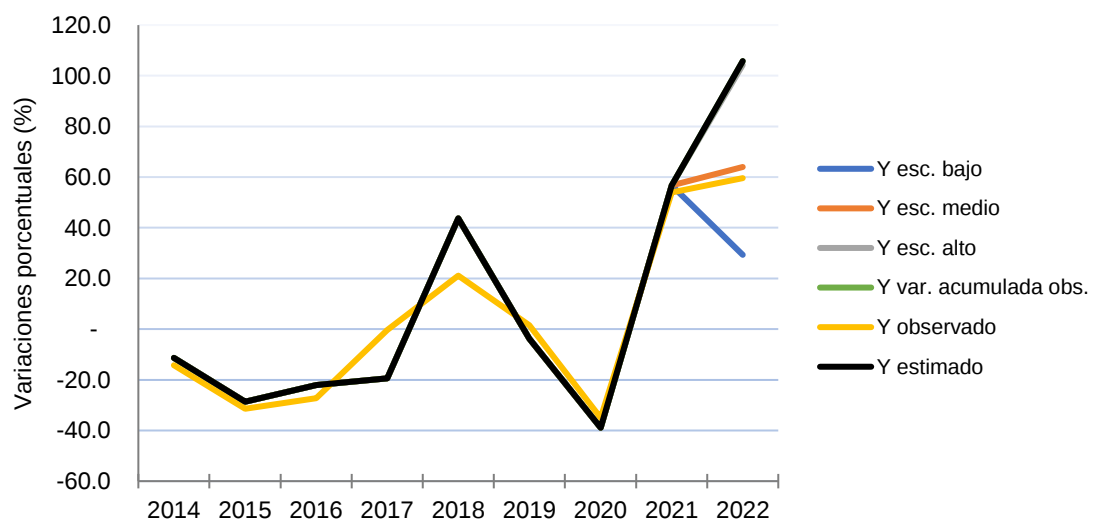
En la tabla anterior, se visualiza que el precio observado se encuentra cercano al escenario medio construido, tanto en nivel como en variación porcentual. Lo que sugiere que a pesar de que los datos estimados (escenario estimado) por el modelo al mes de análisis se encuentran por encima de los precios observados en la realidad, la construcción de bandas (alto, medio y bajo) representan un análisis complementario al modelo propuesto, derivado que recoge las expectativas esperadas de cada uno de los parámetros, asociado a los pronósticos de fuentes oficiales, así como el juicio de experto.

El resultado final es la construcción de distintos probables escenarios esperados, que pueden ser contrastados con la realidad, los cuales pueden variar en relación a la coyuntura que se encuentre evaluando, siendo el año 2022 un período catalogado como atípico, derivado de la volatilidad en los precios internacionales de los combustibles fósiles (explicado por la recuperación económica a nivel mundial en la demanda de recursos energéticos post pandemia, conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, así como los efectos del cambio climático), un ritmo inflacionario por encima de las expectativas previstas para el

país, así como la recuperación de la demanda de electricidad en el territorio guatemalteco post pandemia. A continuación, se presenta una figura con la serie histórica de la variación anual del precio *spot*.

Figura 17.

Variación anual del precio spot



Nota. Elaboración propia.

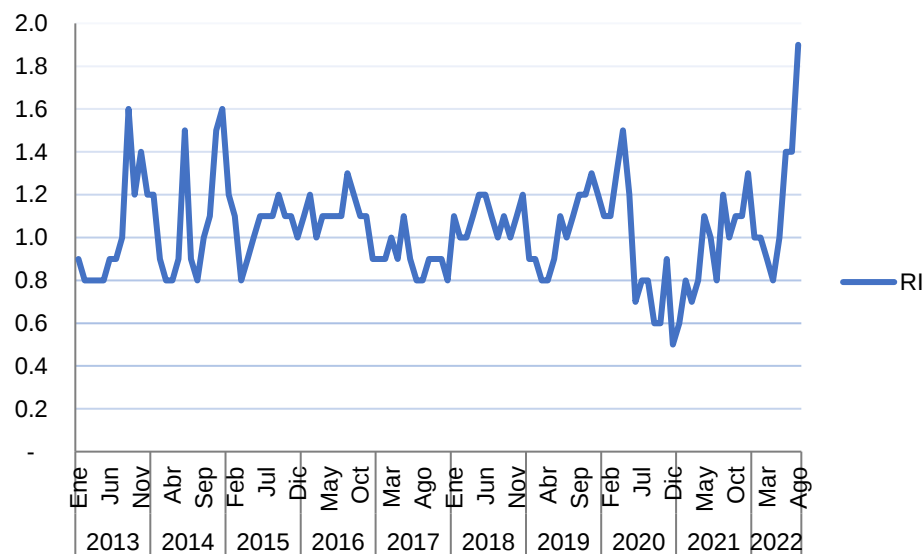
En la figura anterior, se comprueba nuevamente que en la mayoría de los años la estimación del modelo se encuentra correlacionada con los datos observados, así como las características atípicas que presenta el año 2022, factor que resalta las limitaciones de los modelos de pronósticos y la necesidad de la incorporación del juicio de experto como complemento de análisis. Sin embargo, el escenario medio propuesto parece ser el que más ajuste tiene a la realidad, que reportó resultados favorables en el pronóstico del precio spot al mes de análisis.

Por su parte, se realizó una última comprobación entre el precio *spot* estimado (indicador) y el observado, que es la relación de indicador (RI), consiste en obtener el cociente entre el indicador respecto del dato observado, con el fin de establecer cuanto representa la estimación en relación con el dato real y verificar la estabilidad de este en el tiempo, mientras más cercano a 1 esté, se cuenta con mayor consistencia.

A continuación, se presenta una figura con la relación de indicador del precio *spot* estimado respecto al observado para la serie analizada.

Figura 18.

Relación de indicador del precio spot



Nota. Elaboración propia.

En la figura anterior se visualiza que en la mayor parte de las veces el RI se ha localizado alrededor del 1, mientras que en otras ocasiones se ha alejado hacia la baja o al alza, recientemente en el año 2020 y 2021 (atípicos). Se

calcularon las medidas de tendencia central de la serie analizada y se obtuvieron los resultados siguientes: la moda corresponde a 1.1, mediana de 1.0 y media de 1.1; los resultados obtenidos sugieren que en la mayor parte de la serie las estimaciones han sido consistentes con las cifras observadas reales.

Finalmente, luego del análisis de los resultados obtenidos de la investigación se puntualizan los siguientes aspectos relevantes: el modelo estadístico propuesto ha demostrado tener un ajuste considerable respecto de las observaciones de precios spot observadas a lo largo de la serie de tiempo examinada. Se determinó que han existido períodos en donde se encontraron brechas entre los niveles de estimación respecto de los datos reales, a causa del porcentaje que el instrumento no fue capaz de explicar, sin embargo, con la incorporación del juicio del investigador a través de la construcción de escenarios con expectativas esperadas para cada uno de los parámetros, se fortaleció el nivel de análisis y certeza de la serie de tiempo evaluada.

8.2. Análisis externo

A continuación, se realiza un análisis externo sobre los principales resultados de la investigación efectuada.

En contraste con los resultados del estudio realizado por Bello y Beltrán (2010) *Caracterización y Pronóstico del Precio Spot de la Energía Eléctrica en Colombia*, en donde se identificó una fuerte similitud con relación a la estacionalidad de las lluvias y su incidencia dentro de la composición de la matriz de generación de electricidad, que explica que, en ausencia o presencia de la intensidad de este parámetro, el precio se ve afectado de manera significativa.

Es importante destacar que tal estudio reflexiona sobre los impactos directos en las utilidades y futuras inversiones del subsector, sin embargo, es necesario extender la cadena de efectos hasta la óptica social, en función a que el efecto en el ritmo inflacionario provocado por estos cambios puede llegar a incidir a uno de los eslabones más importantes, que está representado por el ingreso disponible de los hogares, lo que reduciría su capacidad adquisitiva en un período de tiempo, provocando efectos en su bienestar integral.

Por su parte, el estudio efectuado por García, Bohórquez, López y Marín (2013) *Poder de Mercado en Mercados Spot de Generación Eléctrica: Metodología para su Análisis*, pone en manifiesto la necesidad de realizar esfuerzos para identificar, evaluar y mitigar los efectos de la excesiva participación de los agentes generadores dentro del mercado eléctrico. En Guatemala, el AMM a través de los mecanismos de programación de la producción en diversos horizontes de tiempo ha tenido impactos favorables en relación con las cuotas de mercado, así como la promoción de la competitividad entre los agentes, generando señales desde la decisión del tipo de recurso que se utiliza para los futuros inversores, hasta presiones dirigidas a la minimización de costos con énfasis a una mayor propensión a la convocatoria.

Asimismo, en la última década las licitaciones efectuadas por el país han ido en favor a la atracción de inversión enfocada al uso de recursos renovables en los procesos productivos, generando mejores condiciones para los precios futuros. Sin embargo, la licitación como tal es un mecanismo que permite el libre ingreso de nuevos agentes generadores, lo que es favorable para la competitividad y control del poder de mercado dentro del territorio.

En relación con los resultados del estudio realizado por Hurtado, Quintero y García (2014) *Estimación del precio de oferta de la energía eléctrica en Colombia mediante inteligencia artificial*, en donde se determinó que el mismo tuvo un buen ajuste en su mayoría, mientras que hubo otra parte que reportó perturbaciones que inclinó a concluir que el modelo es efectivo de manera parcial, recomendando que es necesario la inclusión del criterio de experto, con el fin de reforzar los supuestos de la estructura del modelo y de esta manera entrenar a las variables de ingreso con información cualitativa sobre el funcionamiento de este, con el objetivo de incrementar su efectividad predictiva.

En la investigación se obtuvo un R^2 ajustado de 0.79, por su parte, el modelo logró explicar cerca del 80 % de las variaciones de los precios spot de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, por lo que es importante destacar el tratamiento particular que se utilizó para cada una de las variables regresoras del modelo, con el objetivo de calibrar de tal manera cada parámetro para que reflejará información cuantitativa y cualitativa cercana a la realidad, lo cual coadyuvó con la obtención de resultados favorables para la estimación de los precios.

En contraste con el estudio efectuado por Blümel, Domper y Espinoza (2010) *Crecimiento Económico, Precios de la Energía e Innovación Tecnológica*, en donde se realizó un análisis sobre la importancia de los precios de la electricidad y su efecto a largo plazo en el desempeño económico de un país, se indicó que a medida que este mantenga incrementos sostenidos, como resultado se puede sugerir efectos que provoquen reducciones en el crecimiento del PIB.

Este efecto puede generarse durante períodos en donde los costos de producción de la electricidad se encuentren con presiones al alza, los cuales puede originarse en temporadas caracterizadas por un alto ritmo inflacionario,

fluctuaciones fuertes y prolongadas en los precios de los combustibles fósiles, así como distorsiones en las cadenas de logística y transporte a nivel mundial.

Este efecto se traslada en distintos niveles al precio de la electricidad, así como los demás bienes y servicios que se transan en una economía, en donde bajo estos supuestos los gobiernos como medida de contención ante un sobrecalentamiento económico, deben propiciar condiciones de política fiscal y monetaria para contrarrestar estos efectos, en donde se observará presiones a la reducción del ritmo económico como resultado de las medidas de mitigación.

En esta investigación se analizaron y utilizaron las variables de los precios internacionales de los combustibles fósiles, así como la inflación, en donde se pone de manifiesto la estrecha relación que presentan con el precio spot, exponiendo la necesidad de seguir propiciando la diversificación de la matriz de electricidad con énfasis en conseguir un alto componente de fuentes renovables, lo cual tendrá incidencia en la reducción de los efectos ocasionados por la volatilidad heredada por estos componentes.

Por su parte, en el estudio realizado por Sikora, Campos y Bustos (2017) *Determinantes del Precio Spot Eléctrico en el Sistema Interconectado Central de Chile*, sugiere el análisis de los componentes de la matriz de electricidad, así como crear condiciones favorables para diversificar la misma. La investigación logró incorporar uno de los dos componentes de la matriz de electricidad, que para el caso de Guatemala fue la más representativa, siendo esta la de recursos renovables, lo cual contribuyó en su papel de variable explicativa con proveer información relevante para la construcción del modelo propuesto.

Por su parte, de acuerdo con las estadísticas del AMM se puede comprobar que el país se encuentra en un período de transición hacia el aumento

del empleo de recursos renovables como fuente de generación, lo cual representa un indicador cada vez más favorable, derivado que contribuye con la minimización de la huella de carbono a nivel país, además de servir como medida de mitigación al reducir la exposición de la electricidad nacional en relación a la disminución en el uso de recursos no renovables, en función a la volatilidad en los precios de los insumos que caracteriza a este segmento, así como su impacto directo en el precio final.

CONCLUSIONES

1. Se estableció que la energía eléctrica renovable además de aportar cerca de dos terceras partes respecto del total, muestra una correlación inversa al analizarse con el precio *spot*, derivado de las características de costos de este segmento (menores respecto a los no renovables), dando como resultado un precio con presiones a la baja.
2. Se evaluó la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio e inflación, determinando que el primero presenta una correlación positiva directa respecto del precio *spot*, que sugiere el alza en el costo operativo de la producción no renovable, impactando al precio final. El tipo de cambio reportó una relación positiva directa en relación con el precio. Finalmente, la inflación mostró una relación inversa.
3. Se identificó la relación que existe entre el nivel de lluvias dentro del territorio a través del análisis de registros históricos. El trabajo consistió en la creación de una variable dicotómica que logrará suministrar información sobre el estado del tiempo (referente a lluvias), con el fin de determinar a través de categorías agregadas si las condiciones fueron favorables para la generación hidráulica o no (1-0).
4. Se determinó que la variación de los precios *spot* se encuentra explicada por el comportamiento de las variables: generación con recursos renovables, precios internacionales del carbón y petróleo, tipo de cambio e inflación. El R^2 fue de 0.80, que sugiere que el modelo cuenta con una correlación positiva alta.

RECOMENDACIONES

1. En futuras investigaciones se recomienda utilizar indicadores sintéticos para empalmar los vacíos de información, considerando que estos deben de construirse bajo criterios técnicos consistentes. Sin embargo, es importante tener presente las restricciones de estos, debido que pueden provocar una reducción en los coeficientes de correlación.
2. En otros estudios se sugiere evaluar diversas alternativas para el tratamiento de los precios de los combustibles fósiles, con el afán de reflejar un mayor ajuste a la realidad. El escenario de rezago puede ser sustituido por un análisis de media móvil o móvil centrada (supuestos: trasladar el efecto del precio de los últimos tres meses a su costo, así como considerar el precio de inventario presente y futuro).
3. Se sugiere para futuras investigaciones ampliar el horizonte de tiempo analizado, debido que los indicadores asociados al clima deben considerar al menos series que provean información de 30 años, con el fin de construir series de tiempo con un alto nivel de consistencia y predicción. Así como considerar el intentar recabar un universo más significativo de datos.
4. Es relevante incorporar el juicio de experto dentro del desarrollo investigativo, derivado que los modelos probabilísticos por sí mismos han evidenciado debilidad ante escenarios atípicos. Las variables cualitativas son una alternativa que prometen incrementar la consistencia predictiva de estos, por lo que es necesario continuar con la elaboración de nuevas líneas de investigación sobre los precios *spot*.

REFERENCIAS

Administrador del Mercado Mayorista. (20 de 06 de 2021).
<https://www.amm.org.gt/>. Obtenido de
https://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145

Asamblea Nacional Constituyente. (1985). *Constitución Política de la República de Guatemala*. Guatemala.

Banco de Guatemala. (14 de 09 de 2021). <https://issuu.com/>. Obtenido de
[https://issuu.com/banguat/docs/04 que es la inflacion dfd2bfc1df293c](https://issuu.com/banguat/docs/04_que_es_la_inflacion_dfd2bfc1df293c)

Banco de Guatemala. (20 de 06 de 2021). <https://www.banguat.gob.gt> Obtenido de
<https://www.banguat.gob.gt/es/page/tipo-de-cambio-e-informacion-cambiaria>

Banco de Guatemala. (20 de 06 de 2021). <https://www.banguat.gob.gt>. Obtenido de
<https://www.banguat.gob.gt/es/page/inflacion-1>

Banco de Guatemala. (14 de 09 de 2021). <https://www.banguat.gob.gt/>. Obtenido de
<https://www.banguat.gob.gt/cambio/cambio.pdf>

Banco de Guatemala. (2021). *Informe de Política Monetaria a septiembre de 2021*. Guatemala: BANGUAT.

Banco de Guatemala. (28 de 03 de 2023). <https://www.banguat.gob.gt>. Obtenido de <https://www.banguat.gob.gt/page/matriz-insumo-producto-mip-ano-de-referencia-2013>

Banco Mundial. (20 de 11 de 2022). <https://www.bancomundial.org/>. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/10/21/soaring-energy-prices-pose-inflation-risks-as-supply-constraints-persist>

Banco Mundial. (15 de 10 de 2022). <https://www.worldbank.org/>. Obtenido de <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

Bello, S. P., & Beltrán, R. B. (2010). *Caracterización y pronóstico del precio spot de la energía eléctrica en Colombia*. Colombia.

Blümel, G., Domper, M., & Espinoza, R. (2010). *Crecimiento Económico, Precios de la Energía e Innovación Tecnológica*. Chile.

Congreso de la República. (1996). *Ley General de Electricidad*. Guatemala: Decreto Número 93-96.

DW. (16 de 05 de 2021). www.dw.com. Obtenido de <https://www.dw.com/es/desplome-del-precio-del-petr%C3%B3leo-8-razones/a-19042920>

El País. (01 de 10 de 2021). <https://elpais.com/>. Obtenido de <https://elpais.com/economia/2020-07-15/la-caida-del-carbon-y-de-la-demanda-impulsaron-la-transicion-energetica-en-2019.html>

El Periódico de la Energía. (01 de 10 de 2021). <https://elperiodicodelaenergia.com>. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-produccion-y-los-precios-mundiales-del-carbon-en-caida-libre/>

Fondo Monetario Internacional. (20 de 06 de 2021). <https://www.imf.org>. Obtenido de <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>

Forbes. (01 de 10 de 2021). <https://www.forbes.com>. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/mercados-precios-del-petroleo-sufriran-caida-mas-profunda-en-2020-pese-a-fin-de-confinamientos/>

García, J., Bohórquez, S., López, G., & Marín, F. (2013). *Poder de Mercado en Mercados Spot de generación eléctrica: metodología para su análisis*. Colombia: Centro de investigaciones económicas y financieras.

Gujarati, D. (2010). *Econometría*. México: Mc Graw Hill.

Hurtado, L., Quintero, O. L., & García, J. (2014). *Estimación del precio de oferta de la energía eléctrica en Colombia mediante inteligencia artificial*. Colombia: Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa.

Instituto Nacional de Estadística. (2011). *Cambio de Base del Índice de Precios al Consumidor (IPC)*. Guatemala: INE.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2022). *Niveles de precipitación*. Guatemala: INSIVUMEH.

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (05 de 10 de 2022).

<https://redmet.icc.org.gt/>. Obtenido de <https://redmet.icc.org.gt/login>

Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Subsector Eléctrico en Guatemala*. Guatemala.

Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2020-2050*. Guatemala.

Secretaría General de la Presidencia. (1997). *Reglamento de la Ley General de Electricidad*. Guatemala: Acuerdo Gubernativo Número 256-97.

Sikora, I., Campos, J. A., & Bustos, J. (2017). *Determinantes del precios spot eléctrico en el sistema interconectado central de Chile*. Chile: Scielo.

World Bank Group. (2021). *Commodity Markets Outlook, octubre 2021*. Washington: World Bank.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Matriz de coherencia

Problema general	Objetivos	Metodología	Conclusiones	Recomendaciones
Problema general: ¿Cómo se explica la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad? Problemas específicos: 1. ¿Cuál es la relación que existe entre la composición de la matriz de generación eléctrica, principalmente, la asociada a fuentes renovables y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad? 2. ¿Cuál es la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio e inflación, respecto a la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad? 3. ¿Cuál es la relación que existe entre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad?	Objetivo general: Determinar la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad, a través del análisis de regresión lineal múltiple. Objetivos específicos: 1. Establecer la relación que existe entre la composición de la matriz de generación eléctrica, principalmente, la asociada a fuentes renovables y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad. 2. Evaluar la relación que existe entre el precio de los combustibles fósiles, tipo de cambio e inflación, respecto a la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad. 3. Identificar la relación que existe entre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco y la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad.	El enfoque del estudio comprende el análisis de variables, principalmente, cuantitativas y en menor proporción cualitativas. El diseño de la investigación es experimental. El método utilizado fue estadístico de tipo hipotético-inductivo. El tipo de investigación fue explicativa. El alcance del estudio es de tipo correlacional. La unidad de análisis de la investigación se centra en realizar un estudio sobre los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad de Guatemala Fase I: estadística descriptiva del precio spot. Fase II: revisión de series de datos sobre la generación de energía eléctrica en Guatemala Fase III: revisión de series de datos de precios. Fase IV: revisión de series de datos sobre el régimen de lluvias en el territorio guatemalteco. Fase V: estadística inferencial y evaluación de supuestos del modelo. Fase VI: redacción del informe final.	1. Se determinó que además de aportar cerca de dos terceras partes en relación con el total, presenta una correlación inversa al analizarse respecto del precio spot, derivado de las características de costos que presenta, dando como resultado un precio con presiones a la baja cuando existen temporadas con un alto aporte con fuentes verdes. 2. Se evaluó que tanto el carbón y petróleo presentan una correlación directa respecto del precio spot, que sugiere un incremento en el costo operativo de las centrales de producción con fuentes no renovables, que finalmente repercute en el alza del precio según la participación de este segmento dentro del total. 3. Se identificó la relación que existe entre el régimen de lluvias. El trabajo consistió en la creación de una variable dicotómica que logrará suministrar información sobre el estado del tiempo, con el fin de determinar a través de categorías agregadas si las condiciones fueron favorables para la generación hidráulica o no (1-0). 4. Se determinó que la variación de los precios de la generación de energía eléctrica en el mercado de oportunidad de Guatemala se encuentra explicada por el comportamiento de las variables explicativas: generación con recursos renovables, precios internacionales del carbón y petróleo, tipo de cambio e inflación.	1. Se estableció que la investigación tuvo limitaciones en cuanto a la disponibilidad de registros mensuales, por lo que, en futuras investigaciones se recomienda que en ausencia de información es válida la incorporación de indicadores sintéticos, sin embargo, es importante tener presente las limitaciones de este tipo de indicadores. 2. En futuras investigaciones se sugiere evaluar otras alternativas para el tratamiento de los precios internacionales de los combustibles fósiles, con el afán de reflejar un mayor ajuste a la realidad del país. El escenario de rezago en los precios puede ser sustituido por un análisis de media móvil y móvil centrada. 3. La investigación incorporó una variable relacionada con el estado del tiempo, derivado de la importancia que esta presenta para la matriz de generación eléctrica, sin embargo, para futuras investigaciones se sugiere identificar, así como ampliar el horizonte de tiempo analizado, considerar al menos series que suministren información por más de 30 años. 4. Es relevante exponer la importancia de determinar e incorporar el juicio de experto dentro del desarrollo investigativo, derivado que los modelos probabilísticos por sí mismos han evidenciado debilidad ante escenarios atípicos.

Nota. Elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1.

Datos analizados

Fecha	Precio spot MWh	Generación renovable	Precios del petróleo	Tipo de cambio	Inflación	Precios del carbón	Tiempo
oct-12	-	-	103.39	-	-	84.8	-
nov-12	-	-	101.17	-	-	86.66	-
dic-12	-	-	101.17	-	-	92.59	-
ene-13	135.37	534,979.98	105.04	7.89	110.4	91.67	1
feb-13	145.48	474,896.02	107.66	7.83	111.3	92.77	1
mar-13	151.15	484,364.41	102.61	7.81	111.83	89.9	-
abr-13	156.88	436,098.78	98.85	7.8	112.02	87.57	1
may-13	153.73	348,568.89	99.35	7.79	112.32	87.43	-
jun-13	134.09	460,779.56	99.74	7.82	113.02	83.57	1
jul-13	120.88	520,107.40	105.21	7.82	113.36	77.51	1
ago-13	121.41	494,787.63	108.06	7.89	113.52	77.61	1
sep-13	67.34	590,854.58	108.78	7.94	113.85	78.27	1
oct-13	91.3	580,378.55	105.46	7.96	113.82	83.6	1
nov-13	81.56	589,957.34	102.58	7.9	114.33	85.8	1
ic-13	92.38	621,896.87	105.49	7.86	114.68	87.05	1
ene-14	90.33	618,820.72	102.25	7.85	114.97	85.4	-
feb-14	122.93	534,454.52	104.82	7.76	115.2	80.31	1
mar-14	133.49	582,208.01	104.04	7.73	115.46	77.17	1
abr-14	140.32	492,392.38	104.94	7.75	115.68	76.98	1
may-14	121.88	469,466.94	105.73	7.73	115.94	77.36	1
jun-14	68.81	566,099.06	108.37	7.81	116.56	75.74	1
jul-14	120.98	477,730.86	105.22	7.77	117.23	72.75	-
ago-14	146.94	412,096.45	100.05	7.81	117.72	72.67	1
sep-14	104.91	506,546.08	95.89	7.72	117.78	69.56	1
oct-14	86.73	595,622.72	86.13	7.65	117.96	67.38	1
nov-14	59.07	617,332.86	76.96	7.62	118.19	66.5	1
dic-14	47.49	673,369.40	60.55	7.62	118.06	66.38	-
ene-15	64.09	620,447.39	47.45	7.64	117.64	62.45	1
feb-15	67.28	562,119.80	54.93	7.65	118.01	66.88	1
mar-15	75.65	589,783.49	52.83	7.63	118.26	64.59	1
abr-15	85.3	491,370.28	57.42	7.69	118.66	60.42	1
may-15	88.32	366,785.24	62.5	7.69	118.9	64.45	-
jun-15	78.74	383,446.37	61.3	7.65	119.34	62.01	-
jul-15	86.2	338,873.45	54.43	7.65	119.95	60.76	-
ago-15	84.16	319,388.36	45.72	7.65	120.03	58.79	-
sep-15	69.53	409,068.89	46.29	7.69	119.99	56.62	1
oct-15	59.91	524,872.39	46.96	7.68	120.59	53.58	1
nov-15	51.96	613,741.21	43.13	7.65	121.16	55.32	1
dic-15	41.55	747,483.14	36.56	7.61	121.68	52.86	1
ene-16	44.45	658,585.99	29.92	7.65	122.79	52.05	-
feb-16	42.01	590,056.45	31.05	7.66	123.05	53.07	1
mar-16	47.73	621,525.68	37.34	7.72	123.3	54.5	1
abr-16	50.13	556,914.10	40.75	7.73	123.51	53.76	1
may-16	64.63	354,220.95	45.98	7.66	124.08	53.99	-
jun-16	64.38	378,615.68	47.69	7.64	124.63	57.15	1
jul-16	62.48	396,951.89	44.22	7.6	125.49	63.55	1
ago-16	48.7	452,660.61	44.84	7.53	125.72	68.64	1
sep-16	45.81	562,798.49	45.06	7.53	125.46	71.93	-
oct-16	51.49	511,283.99	49.29	7.5	126.33	89.92	-
nov-16	44.23	643,662.27	45.28	7.5	126.82	100.51	1
dic-16	54.29	698,003.91	52.61	7.5	126.83	87.93	1
ene-17	64.41	665,754.86	53.63	7.52	127.49	88.76	1
feb-17	66.48	554,711.23	54.36	7.41	127.92	84.5	1

Continuación anexo 1.

Fecha	Precio spot MWh	Generación renovable	Precios del petróleo	Tipo de cambio	Inflación	Precios del carbón	Tiempo
mar-17	54.57	631,715.11	50.91	7.36	128.23	82.32	1
abr-17	66.05	516,623.91	52.23	7.34	128.56	83.71	1
may-17	59.56	403,257.00	49.91	7.34	128.96	76.31	1
jun-17	50.78	643,793.37	46.13	7.34	130.07	81.87	1
jul-17	45.08	724,690.98	47.67	7.31	132.04	86.23	1
ago-17	46.88	702,786.47	49.94	7.28	131.65	94.97	1
sep-17	40.89	744,991.50	52.91	7.3	130.93	98.32	1
oct-17	37.91	830,232.58	54.92	7.34	131.64	97.26	1
nov-17	39.49	807,650.13	59.96	7.33	132.77	97.06	-
dic-17	45.68	803,655.22	61.21	7.34	134.03	100.44	-
ene-18	39.64	771,213.87	66.15	7.34	133.5	104.66	1
feb-18	46.37	749,739.25	63.44	7.36	133.23	102.79	1
mar-18	56.22	731,649.91	64.2	7.39	133.54	98.38	1
abr-18	56.69	591,775.45	68.79	7.4	133.6	96.81	1
may-18	67.48	419,447.44	73.34	7.44	134.23	106.06	1
jun-18	55.86	623,224.94	71.99	7.49	135	113.05	1
jul-18	66.16	623,768.44	72.72	7.48	135.48	116.33	-
ago-18	84.56	503,336.94	71.06	7.5	136.08	111.09	1
sep-18	76.01	603,098.51	75.36	7.65	136.89	110.25	1
oct-18	73.02	692,527.03	76.73	7.72	137.35	107.05	1
nov-18	71.63	651,746.96	62.38	7.7	136.95	99.54	1
dic-18	54.71	769,246.83	53.79	7.73	137.13	100.93	-
ene-19	61.71	748,417.53	56.43	7.73	138.98	97.88	1
feb-19	72.51	622,112.54	61.1	7.74	139.17	91.13	1
mar-19	72.05	667,816.49	63.79	7.69	139.11	86.88	1
abr-19	74.89	619,926.59	68.57	7.64	139.95	78.73	-
may-19	87.71	436,457.29	66.88	7.67	140.32	77.66	1
jun-19	74.47	425,055.91	59.73	7.7	141.48	70.39	-
jul-19	77.16	420,737.51	61.47	7.68	141.4	71.61	1
ago-19	69.64	381,872.04	57.6	7.67	140.18	64.28	1
sep-19	60.74	490,483.96	60.01	7.71	139.36	63.34	1
oct-19	39.15	728,620.27	57.3	7.76	140.33	68.39	1
nov-19	32.73	788,633.01	60.42	7.7	140.95	73.65	-
dic-19	37.07	750,767.87	63.4	7.69	141.8	76.8	-
ene-20	34.94	834,044.47	61.68	7.7	141.46	79.69	1
feb-20	46.77	697,579.44	53.37	7.65	140.89	76.78	1
mar-20	35.74	762,459.12	32.2	7.69	141.57	68	1
abr-20	40.7	578,387.18	21.17	7.71	142.58	59.01	-
may-20	49.77	398,903.37	30.35	7.7	142.85	54.02	1
jun-20	50.7	546,407.59	39.46	7.7	144.86	54.77	1
jul-20	55.8	476,905.95	42.07	7.7	145.47	52.57	1
ago-20	47.1	657,209.33	43.44	7.71	146.05	53.25	1
sep-20	38.44	822,518.44	40.6	7.76	146.28	54.83	1
oct-20	36.47	854,934.76	39.9	7.78	147.83	58.42	1
nov-20	30.22	777,160.61	42.44	7.79	148.65	66.28	1
dic-20	27.07	966,003.73	48.75	7.8	148.64	85.61	1
ene-21	41.35	845,658.18	53.49	7.79	148.87	90.64	1
feb-21	59.43	695,395.27	60.47	7.75	149.34	89.87	1
mar-21	65.08	733,500.56	63.83	7.72	149.84	95.12	1
abr-21	64.08	685,927.70	62.93	7.72	150	95.16	1
may-21	63.26	568,342.59	66.34	7.71	150.24	101.82	1
jun-21	72.7	536,112.59	71.8	7.74	150.52	122.66	1
jul-21	71.92	722,825.06	73.29	7.75	151.02	133.92	1
ago-21	53.64	751,609.26	68.86	7.74	151.33	153.14	1
sep-21	59.21	829,858.07	72.8	7.73	151.65	161.7	1
oct-21	72.98	647,749.13	82.07	7.73	152.2	207.74	1
nov-21	67.39	728,874.50	80.17	7.73	152.94	141.13	1
dic-21	69.28	777,921.67	72.91	7.73	153.2	158.14	1

Nota. Elaboración propia, con base en información del AMM, Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional, Banco de Guatemala, INSIVUMEH e ICC.