



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA

Inga. Ana Lucía Martínez Arriola

Asesorado por el Mtro. Ing. Benedicto Estuardo Martínez Guerra

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGA. ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA

ASESORADO POR EL MTRO. ING. BENEDICTO MARTÍNEZ GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN GESTIÓN DE MERCADOS ELÉCTRICOS REGULADOS

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ LA DEFENSA DE TESIS

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Arturo Cerna Rich
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:

RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 20 de julio de 2020.

Inga. Ana Lucía Martínez Arriola

DTG. 420.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA**, presentado por la **Ingeniera Ana Lucía Martínez Arriola**, estudiante del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, septiembre de 2021

AACE/cc



Guatemala, septiembre de 2021

LNG.EEP.OI.001.2021

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

**“RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y
CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA”**

presentado por **Ana Lucía Martínez Arriola** quien se identifica con carné **201213046** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 18 de enero de 2021.

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

M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA”** del estudiante **ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA** quien se identifica con número de carné 201213046, del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**.

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

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

Atentamente,


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



Guatemala, 31 de octubre de 2020.

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Ana Lucía Martínez Arriola, Carné número 201213046, cuyo título es "**RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestra en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, he procedido a la revisión del mismo.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Ing. Benedito Estuardo Martínez Guerra
Mto. A. Energía y Ambiente
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi motor e inercia para seguir adelante y darme la oportunidad de continuar estudiando y cumplir nuevas metas.
- Mis padres** Benedicto Martínez y Sandra Arriola por su ejemplo de dedicación, esfuerzo que siempre me han inspirado y animado a seguir adelante.
- Mis hermanos** María Celeste y José Estuardo Martínez Arriola, por acompañarme en este reto, por animarme y recordarme la importancia de que el trabajo en equipo es más que solo compartir responsabilidades.
- Mis abuelos** Benedicto de Jesús Martínez, María Magdalena Guerra, Jorge Arriola y Francisca Lucero por sus enseñanzas, consejos, cariño que me dieron en vida y motivaron siempre a seguir mis sueños.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser mi fortaleza y permitirme culminar esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, instruirme y prepararme para el presente y futuro.
Facultad de Ingeniería y Escuela de Estudios de Postgrado	Por ser la sede de mi formación y una importante influencia en mi carrera y permitirme innovar y actualizar mis conocimientos.
Mi familia	Por confiar y animarme a continuar estudiando, por llenarme de amor y alegría, principalmente, por ser mi apoyo, mi equipo, por nunca dejarme sola y motivarme a continuar y esforzarme el doble todo el tiempo.
Mis amigos de la Facultad	A todos mis amigos, principalmente, a mis amigos de la maestría, en especial a Victor Lutín por todo su apoyo, paciencia y cariño, especialmente en los momentos más complicados, así como por las risas y los buenos momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XVII
OBJETIVOS	XXI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Estudios previos.....	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Crecimiento económico	5
2.1.1. Teoría del crecimiento económico.....	6
2.1.2. Modelo de crecimiento de Solow.....	7
2.1.3. Teoría de crecimiento endógeno	8
2.1.3.1. Economía de la energía.....	9
2.2. Contexto de crecimiento económico y consumo de energía eléctrica en Guatemala	10
2.2.1. Producto interno bruto (PIB)	10
2.2.1.1. Producto interno bruto en Guatemala	11
2.2.2. Consumo de energía eléctrica.....	12

	2.2.2.1.	Comportamiento del consumo de energía eléctrica a nivel mundial	12
	2.2.2.2.	Comportamiento del consumo de energía eléctrica en Guatemala.....	14
3.	MARCO METODOLÓGICO		17
	3.1.	Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR).....	17
	3.2.	Representación del VAR.....	18
	3.3.	Pruebas por realizar a las variables	19
	3.3.1.	Raíz unitaria	19
	3.3.2.	Estabilidad y estacionariedad	20
	3.3.3.	Causalidad de <i>Granger</i>	20
	3.3.4.	Función impulso-respuesta	21
4.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN		23
	4.1.	Diseño	23
	4.2.	Enfoque.....	23
	4.3.	Alcance	23
	4.4.	Unidad de análisis	24
	4.5.	Período de la investigación.....	24
	4.6.	Variables e indicadores.....	24
	4.7.	Fases del desarrollo de la investigación	26
	4.7.1.	Fase 1. Revisión documental y recopilación de datos	26
	4.7.2.	Fase 2. Descripción de las variables y cálculo de indicadores.....	27
	4.7.3.	Fase 3. Prueba de causalidad	29
	4.7.4.	Fase 4. Determinación del modelo VAR y funciones impulso-respuesta	29

5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	31
5.1.	Descripción de variables.....	31
5.2.	Descripción estadística de las variables.....	37
5.3.	Indicadores del consumo de energía eléctrica.....	38
5.4.	Transformación de las variables.....	39
5.5.	Estimación del modelo VAR.....	43
5.5.1.	Prueba de causalidad en el sentido de <i>Granger</i>	43
5.5.2.	Modelo VAR.....	43
5.5.3.	Funciones impulso – respuesta.....	46
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
6.1.	Descripción de las variables.....	51
6.2.	Indicadores del consumo de energía eléctrica.....	53
6.3.	Transformación de las variables.....	53
6.4.	Pruebas de causalidad de <i>Granger</i>	54
6.5.	Representación del VAR.....	55
	CONCLUSIONES.....	57
	RECOMENDACIONES.....	59
	REFERENCIAS.....	61
	APÉNDICES.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Balance mundial del consumo final de energía por sector para el año 2017	13
2.	Consumo de energía por sector en Centroamérica	14
3.	Consumo de energía eléctrica 1990-2019.....	15
4.	Crecimiento del PIB vs. crecimiento de la potencia	16
5.	Crecimiento del PIB vs. crecimiento de la energía.....	16
6.	Producto interno bruto <i>per cápita</i> en Guatemala.....	31
7.	Consumo de energía eléctrica <i>per cápita</i> en Guatemala.....	32
8.	Generación de energía eléctrica en Guatemala	32
9.	Exportación de energía eléctrica en Guatemala.....	33
10.	Importación de energía eléctrica en Guatemala.....	33
11.	Precio <i>spot</i> promedio de energía eléctrica en Guatemala.....	34
12.	Descomposición del PIB real <i>per cápita</i>	34
13.	Descomposición del consumo de energía eléctrica <i>per cápita</i>	35
14.	Descomposición de la producción de energía eléctrica <i>per cápita</i>	35
15.	Descomposición de las exportaciones de energía eléctrica <i>per cápita</i>	36
16.	Descomposición de las importaciones de energía eléctrica <i>per cápita</i>	36
17.	Descomposición del precio <i>spot</i> de la energía promedio	37
18.	Intensidad del consumo de energía eléctrica en Guatemala.....	38
19.	Elasticidad del consumo de energía eléctrica.....	39

20.	Variación de la tasa de crecimiento del PIB real <i>per cápita</i> (Dlog PIBp)	40
21.	Variación de la tasa de crecimiento del consumo de energía eléctrica <i>per cápita</i> (Dlog CEETp)	40
22.	Variación de la tasa de crecimiento de la producción de energía eléctrica <i>per cápita</i> (Dlog GEEp)	41
23.	Variación de la tasa de crecimiento de la exportación de energía eléctrica <i>per cápita</i> (Dlog EEEp).....	41
24.	Variación de la tasa de crecimiento de la Importación de energía eléctrica <i>per cápita</i> (Dlog IEEp)	42
25.	Variación de la tasa de crecimiento del precio <i>spot</i> de la energía promedio (Dlog PSP).....	42
26.	Prueba de raíz unitaria VAR	45
27.	Correlogramas de los residuos del VAR.	45
28.	Respuesta de la tasa de variación del consumo de energía eléctrica <i>per cápita</i> ante un shock de las otras variables endógenas	47
29.	Respuesta de la tasa de variación del crecimiento económico per cápita ante un shock de las otras variables endógenas.....	48
30.	Respuesta de la tasa de variación en el precio <i>spot</i> ante un shock de las otras variables endógenas	49
31.	Respuesta de la tasa de variación de la generación de energía eléctrica <i>per cápita</i> ante un shock de las otras variables endógenas ...	50

TABLAS

I.	Variables de estudio	25
II.	Indicadores.....	28
III.	Medidas de estadística descriptiva de las variables.....	37
IV.	Matriz de correlación	38
V.	Prueba de causalidad entre las variables endógenas.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
K_t	Capital, en dólares.
L_t	Capital humano o fuerza laboral, en dólares.
C_t	Consumo privado, en dólares.
US\$/MWh	Dólares por megavatio hora.
NX_t	Exportaciones netas, en dólares.
G_t	Gasto público, en dólares.
H_0	Hipótesis nula.
I_t	Inversión, en dólares.
kWh/per cápita	Kilovatio hora por persona.
MWh/per cápita	Megavatio hora por persona
Y_t	Producto interno bruto, en dólares.
S	Propensión marginal al ahorro, decimal.
A	Tecnología

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Capital de producción	Capital que puede generar productos o capital nuevo.
Causalidad	Relación que se establece entre causa y efecto.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Correlograma	Es una herramienta gráfica de autocorrelación entre variables, utilizada para ver la aleatoriedad en un conjunto de datos.
Curtosis	Indicador estadístico que mide la distribución vertical alrededor de la media de un conjunto de datos (que tan achatada o apuntada) se encuentra, respecto a una distribución normal. Esta puede ser leptocúrtica (mayor a cero), mesocúrtica (igual a cero, comportamiento normal), o platicúrtica (menor a cero, datos muy dispersos).
Depreciación de capital	Deducción del ingreso para contabilizar la pérdida de valor de capital, derivado del uso de los bienes de capital de producción.

Elasticidad	En economía, se refiere a la cuantificación de la variación experimentada por una variable por el cambio en otra variable.
Factores de producción	Se refiere a los insumos que se utilizan para producir otros bienes o servicios.
Homocedasticidad	En modelos de regresión, se utiliza cuando el error no observado presenta varianza constante, es decir que presentan la misma dispersión entre ellos.
Intensidad	Grado de fuerza o de energía con que se realiza una acción o se manifiesta un fenómeno.
PIB	Producto interno bruto. Magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de la demanda final de un país determinado.
Precio <i>spot</i>	También conocido como “precio de oportunidad de la energía”, es el valor del costo marginal de corto plazo de la energía en cada hora.
Serie de tiempo	Se refiere al conjunto de datos que dependen del tiempo y se registran de forma secuencial de una misma variable.

Serie estacionaria	Se refiere a las series de tiempo que cuentan con una media y varianza constante, por lo que no dependen del tiempo y no cuenta con tendencia.
Serie no estacionaria	Son series de tiempo que presenta sus componentes de tendencia, estacionalidad y ciclo.
Sesgo	También conocido como “coeficiente de asimetría”, es un indicador estadístico que mide el grado de asimetría de una distribución de datos con respecto a su media. Este puede ser positivo, negativo o cero.
VAR	Modelo de Vectores Autorregresivo.

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía eléctrica en Guatemala en el periodo comprendido entre el año 2001 hasta el 2019. El cual se realizó en dos partes, la primera consta de un análisis de estadística descriptiva entre las variables, así como el cálculo de los índices de elasticidad del consumo de energía eléctrica y la intensidad del consumo de electricidad en Guatemala evidenciando que existe una correlación lineal fuerte entre las variables y en promedio el consumo de energía eléctrica responde positivamente, aunque en menor porcentaje ante la variación del PIB. Sin embargo, es importante recordar que, aunque exista correlación entre las variables, esto no implica causalidad.

En la segunda parte se transformaron las variables en tasas de variación tanto del consumo de energía eléctrica como del crecimiento económico, las cuales se utilizaron para formar un modelo de vectores autorregresivos (VAR) agregando para el mismo el precio *spot*, la generación, exportación e importación de energía eléctrica. Asimismo, se realizó la prueba de causalidad de *Granger*, la cual evidenció que existe tanto una correlación positiva entre el consumo de energía eléctrica y el crecimiento económico en Guatemala, dando una relación unilateral en el sentido de *Granger* entre la tasa de variación del consumo de energía eléctrica y el PIB comprobando así la hipótesis de conservación, lo cual se refuerza con los resultados de las funciones de impulso-respuesta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Al observar el comportamiento de los países específicamente su crecimiento económico y consumo de energía, se hace notoria una relación entre estas variables por el hecho de tener un comportamiento similar en sus tendencias. Siendo este el caso de China, que ha aumentado su consumo energético al mismo tiempo que ha incrementado su tasa de crecimiento económico, lo mismo se aprecia en países como México (Marroquín y Ríos, 2017) y Perú (Ríos, 2012); en los cuales, muchos de sus factores productivos son intensivos en el uso de energía. Esta situación permite considerar que existe una estrecha relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico.

- Descripción del problema

Esta situación no es ajena para Guatemala, el comportamiento del PIB y el consumo de energía eléctrica, también muestra una estrecha relación entre sí. Sin embargo, no se cuenta con estudios específicos publicados sobre la incidencia de una variable sobre la otra y se ha utilizado esta relación como un axioma, utilizándolo en artículos de prensa, en planes, políticas y perfiles energéticos e informes del sector entre otros.

- Formulación del problema

A ese respecto a continuación se presentan las preguntas de investigación, con las cuales se abordará el trabajo de graduación:

- Pregunta central

¿Existe correlación positiva entre consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en Guatemala?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Qué variables se pueden utilizar para describir la relación entre energía eléctrica y crecimiento económico?
 - ¿Qué relación existe entre el consumo de energía eléctrica, los precios de electricidad y el PIB en Guatemala?
 - ¿Qué incidencia tiene un aumento del consumo de energía eléctrica ante una variación del PIB en Guatemala?

- Delimitación del problema

A continuación, se presenta la delimitación contextual, geográfica e histórica del problema en estudio.

- Delimitación contextual

Derivado de lo anterior, el problema de interés del siguiente trabajo de graduación fue analizar la relación entre consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en Guatemala, con el propósito de demostrar empíricamente si existe una correlación positiva entre estas variables para lo cual se utilizó información histórica de la demanda de energía eléctrica y el producto interno bruto (PIB).

- Delimitación geográfica

La investigación se concentró en analizar información histórica del PIB y consumo de energía eléctrica en Guatemala, así como las variables de generación, exportación e importación de energía eléctrica en Guatemala.

- Delimitación histórica

La delimitación histórica es el periodo comprendido del año 2001 hasta el 2019 a fin de recolectar la mayor cantidad de observaciones para las variables del PIB y consumo de energía eléctrica.

OBJETIVOS

General

Determinar si existe correlación entre consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en Guatemala.

Específicos

1. Calcular la respuesta del subsector eléctrico respecto a variaciones en el PIB en Guatemala.
2. Identificar si existe una relación de causalidad entre el consumo de energía eléctrica y el PIB, así como entre el precio *spot* y el PIB en Guatemala.
3. Estimar el impacto en el consumo de energía eléctrica ante un cambio en el crecimiento económico en Guatemala.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El diseño de investigación adoptado fue no experimental dado que se utilizó información histórica del consumo de energía eléctrica y PIB ambas *per cápita* en Guatemala, con un enfoque cuantitativo y se basó en el análisis del comportamiento e interacción entre las variables antes mencionadas a lo largo del período de análisis, el cual fue del año 2001 al 2019 con valores trimestrales.

Las variables analizadas fueron series de tiempo correspondiente al consumo, generación, exportación e importación de energía eléctrica, producto interno bruto real, todas las anteriores *per cápita* y el precio *spot* promedio.

- Fases del desarrollo de la investigación
 - Fase 1. Revisión documental y recopilación de datos: se consultaron diferentes fuentes de información relacionadas con el estudio como libros y artículos científicos. Asimismo, se conformó la base de datos de la investigación recopilando la información histórica de las variables en las páginas oficiales de la información respectiva.
 - Fase 2. Descripción de las variables y cálculo de indicadores: se realizó la descripción del comportamiento de las variables, así como se calcularon estimados de estadística descriptiva como lo son la media, la mediana, la desviación estándar y la matriz de correlación lineal entre las variables.

Asimismo, se calculó los indicadores de “Intensidad del consumo de energía eléctrica en Guatemala” y la elasticidad del consumo de energía eléctrica, con el objeto de medir el cambio del consumo de este tipo de energía ante un cambio en el crecimiento económico de Guatemala.

- Fase 3. Prueba de causalidad: para iniciar se transformaron las variables aplicando la primera diferencia del logaritmo a cada una de las series, lo cual se interpreta como una tasa de variación con el fin de tener series estacionarias y eliminar posibles relaciones espurias. Luego se realizó la prueba de causalidad de Granger entre las variables endógenas, para determinar el tipo de relación entre las variables y clasificarlas según la literatura encontrada.

- Fase 4. Determinación del modelo VAR y funciones impulso-respuesta: se calculó el modelo de vectores autorregresivos verificando su estabilidad y comportamiento de los residuos. A partir del modelo VAR creado se graficó las funciones de impulso respuesta para analizar el cambio en el crecimiento económico en el consumo de energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La evolución de las economías alrededor del mundo ha motivado la hipótesis que el crecimiento económico depende cada vez más del consumo de energía, por lo que se vuelve más relevante su obtención, suministro y utilización de dicho recurso considerando los costos y sus repercusiones sociales, ambientales y económicos en los que se incurren para su uso.

Asimismo, es interesante mencionar que no se puede asumir que un aumento en el consumo de energía eléctrica causa crecimiento económico, no obstante, el tener acceso a energía eléctrica le permite a una sociedad mejorar su calidad de vida al poder tener acceso a servicios de salud dignos como agua, seguridad, mayor autonomía para trabajar, entre otros. Por otra parte, el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas en sus objetivos de desarrollo sostenible No. 7 denominado “Energía asequible y no contaminante” persigue el compromiso de las naciones miembro de invertir en fuentes de energía renovable con procesos más eficientes de generación y uso de la energía, así como incrementar el acceso a la energía eléctrica a las comunidades más aisladas que no cuenten con dicho recurso a fin de incentivar el crecimiento económico de manera responsable con el medio ambiente.

Aunado a lo anterior, se encontró entre la literatura existente cuatro hipótesis de relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía, las cuales se enfocan en explicar que tanto incide una variable sobre el comportamiento a corto y largo plazo que permita impulsar políticas para aumentar el crecimiento económico y también evaluar la política energética para que ésta no sea contraproducente, así como afecta el cambio de una tecnología

de producción e incentivar el consumo de la energía de forma eficiente y responsable en virtud de aumentar la actividad económica o cómo afecta el implementar una política económica para incrementar el crecimiento y por ende incrementar la demanda de energía. Por lo que el estudio de la relación entre estas variables ha ganado relevancia para la generación de políticas a fin de mejorar la gobernanza en los países.

En ese sentido, la presente investigación explica la relación entre el consumo de energía eléctrica y el crecimiento económico en Guatemala para el período comprendido entre los años 2001 al 2019, dividiéndose en seis capítulos siendo el primero denominado “Marco Referencial”, el cual presenta un resumen de algunos estudios previos de dicha relación tanto a nivel mundial como local para economías específicas como lo es México, Colombia, entre otras. El segundo capítulo se denomina “Marco Teórico” el cual introduce los conceptos básicos necesarios referente al crecimiento económico y el consumo de energía eléctrica; el tercer capítulo es el “Marco Metodológico” el cual presenta los elementos principales para realizar un modelo de vectores autorregresivos; el cuarto capítulo se denomina “Desarrollo de la Investigación” el cual presenta los supuestos y estructura del procedimiento de solución abordado.

Por último, se encuentran los capítulos cinco y seis denominados “Presentación de Resultados” y “Discusión de Resultados” respectivamente, los cuales presentan como sus nombres indican los resultados encontrados, así como la interpretación de los mismos para Guatemala en el periodo de análisis. Es importante mencionar que por la frecuencia de los datos (la cual fue trimestral) el número de observaciones disponibles fueron 81, por lo que las conclusiones no pueden ser generalizadas de manera global, pero si las condiciones y el comportamiento permanecen constantes, los resultados podrían evaluar el impacto de las políticas existentes a corto plazo.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estudios previos

Entre la diversidad de los estudios realizados sobre la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía dependiendo de la región o país y del método seleccionado para su análisis, los resultados en algunos casos han llegado a ser contradictorios. Por lo que el interés de profundizar en el tema surge de la observación empírica del desarrollo económico reconociendo los avances y cambios tecnológicos que buscan independencia energética, principalmente de precios de recursos fósiles para lo cual modifican sus factores productivos. En ese sentido han surgido cuatro hipótesis de relación entre estas variables las cuales son de crecimiento, conservación, retroalimentación y neutralidad (Belke, Dobnik & Dreger, 2011).

Faisal, Tursoy & Ercantan (2017), encontraron evidencia sobre una relación de causalidad unilateral a largo plazo entre crecimiento económico y consumo de energía en Bélgica, validando la hipótesis de conservación la cual expone que un incremento en el PIB ocasiona un incremento en el consumo de energía pero no de forma inversa, lo cual sugiere que sí el país implementa políticas de conservación de energía diseñadas para reducir el consumo y el gasto de energía no impactarán de forma negativa en el crecimiento económico.

Otros investigadores se han interesado en estudiar dicha relación con un enfoque grupal o por región como lo exponen Vera & Kristjanpoller (2017), quienes realizaron un estudio en datos de panel con un enfoque de cointegración para Latinoamérica encontrando resultados de la hipótesis de conservación a

largo plazo, mostrando que el crecimiento económico para la muestra de 14 países de esta región depende de las exportaciones, es decir, que si dichos países implementaran políticas que afecten negativamente la producción de energía eléctrica, esto no impactaría significativamente en términos estadísticos, en el crecimiento económico a corto plazo, sin embargo, observaron que sí afectan en el largo plazo.

Jima (2019), incorpora a su investigación la variable de población económicamente activa para analizar la relación entre crecimiento económico y consumo de energía eléctrica en Ecuador; entre los resultados obtenidos indica que existe una relación unidireccional del PIB hacia las otras dos variables, es decir, a mayor crecimiento económico, mayor consumo energético y mayor será la población económicamente activa. Es interesante comentar que no encontró evidencia de una relación bidireccional, es decir, un incremento en consumo de energía no incide en el crecimiento económico.

Sin embargo, Galindo, Samaniego, Alatorre, Ferrer y Reyes (2014) encontraron una relación de causalidad a corto plazo unilateral del consumo de electricidad hacia el PIB real para Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Ecuador en el período de análisis comprendido entre el 1975 hasta el 2006. Esto significa que un incremento en el consumo de electricidad incide directamente el crecimiento económico en dichos países lo cual comprueba la hipótesis de crecimiento al contrario que Jima (2019). Asimismo, Galindo, *et al.* (2014), encontraron que para Venezuela existe una causalidad bidireccional entre el consumo de electricidad y el crecimiento económico lo cual comprueba la hipótesis de retroalimentación, sin embargo, para Perú no se encontró que las variables se relacionan entre sí validando la última hipótesis de neutralidad.

Por último, nos concentraremos en los estudios realizados en la región de Centro América. Nachane, Nadkarni & Karnik (1988) analizaron cointegración y causalidad en un grupo de 16 países para el período de 1950 a 1984, en el cual determinaron que existe cierta relación de causalidad entre las variables para cada país específicamente encontraron evidencia que soporta la hipótesis de crecimiento en Guatemala. Por otra parte, Apergis & Payne (2009) encontraron evidencia de la hipótesis de retroalimentación para los países de Centroamérica realizando un estudio de panel de datos para el periodo de 1980 hasta al 2004, estos resultados mixtos pueden deberse por entre otras cosas por el tipo de metodología aplicada, el período de estudio, el desarrollo económico y las políticas aplicadas, así como a cambios en patrones de consumo y precios de energía.

2. MARCO TEÓRICO

Al comparar el comportamiento entre países es frecuente preguntarse el por qué algunos países son más ricos que otros, lo que genera otra batería de preguntas como: cuál es la razón por la que se observa mayor desarrollo en los que poseen ingresos medios más altos que hace que el nivel de vida difiere tanto y si en algún momento todos los países convergen en el mismo nivel de crecimiento económico. En ese sentido, el presente capítulo presenta los conceptos básicos necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

2.1. Crecimiento económico

Se le denomina crecimiento económico al cambio cuantitativo o expansión de la economía de un país (Arias, 2008) considerando para tal motivo la variación interanual positiva del producto interno bruto (PIB).

El crecimiento económico dependiendo del uso de sus recursos se puede clasificar como extensivo cuando la economía se basa en el uso de capital y trabajo (talento humano) o intensivo si utiliza la misma cantidad de los recursos productivos multiplicados por un factor de eficiencia como resultado del progreso tecnológico, la investigación y desarrollo (I+D) generando de esta manera la economía interna más productiva.

Por otro parte es interesante resaltar que cuando el crecimiento económico “se logra mediante un uso más productivo de todos los recursos, incluida la mano de obra, trae aparejado un incremento del ingreso por habitante y la mejora del nivel de vida, como promedio de la población.” (Castillo, 2011, pág. 3).

2.1.1. Teoría del crecimiento económico

“La teoría del crecimiento económico estudia cuáles son los determinantes del crecimiento económico a largo plazo y las políticas que deben impulsarse para estimular el crecimiento.” (Benito, 2014, pág. 2).

Los modelos clásicos de crecimiento económico incorporan los conceptos de “rendimientos decrecientes y su relación con la acumulación de capital físico o humano, la relación entre el progreso tecnológico y la especialización del trabajo o el enfoque competitivo como instrumento de análisis de equilibrio dinámico.” (Benito, 2014, pág.3).

Los modelos neoclásicos introducen un enfoque de optimización al considerar el progreso tecnológico exógeno como el “motor último del crecimiento a largo plazo” (Pérez, 2012, pág.1) para lo cual incorpora en la función de producción el concepto de acumulación de los factores de capital y trabajo. “El problema con estos modelos es que considera que el crecimiento ocurre por factores exógenos, de modo que las políticas económicas poco ayudan cuando se requiere aumentar el producto.” (Zamarripa, 2016, pág.12).

La nueva teoría del crecimiento o teoría de crecimiento endógeno adiciona las tasas positivas de crecimiento eliminando de esta manera los rendimientos decrecientes a escala a través de externalidades o de introducir capital humano. Es interesante mencionar que, con esta corriente aparecen modelos que involucran inversión en investigación y desarrollo (I+D) en los que el gobierno empieza a tomar un papel importante por medio de políticas y acciones para garantizar los derechos de propiedad. Las mayores aportaciones de esta corriente es considerar el progreso técnico como endógeno y caracterizarlo

esencial para el crecimiento, según lo menciona Benito (2014), Barro (2010) y Sala-i-Martin (2000).

2.1.2. Modelo de crecimiento de Solow

Este modelo se fundamenta en varios supuestos los cuales según lo expuesto por Benito (2014) son: el primero, la fuerza laboral (L) es igual al total de la población, por lo que no se considera desempleo; el segundo, la tasa de cambio de la fuerza laboral es igual a la tasa de crecimiento de la población, así como el cambio en tecnología se considera constante; el tercer es que las dotaciones iniciales de capital, trabajo y tecnología se consideran dadas; el cuarto es que no existe la intervención del Estado por lo que no inciden los impuestos o el gasto del gobierno; el quinto indica que nos encontramos analizando una economía cerrada, es decir, no existen importaciones ni exportaciones; el sexto es que la inversión es igual al ahorro. En consecuencia, a estos tres últimos supuestos, el PIB real (producción) es igual a:

$$Y_t = C_t + I_t \quad (1)$$

Sustituyendo el sexto supuesto y considerándolo en términos de renta real:

$$Y_t - \partial K = C_t + (1 - s) * (Y_t - \partial K) \quad (2)$$

Donde:

Y_t = PIB en dólares.

C_t = Consumo privado en dólares.

∂K = Depreciación del capital en dólares.

s = Propensión marginal al ahorro decimal.

Por último, Benito (2014) menciona que el séptimo supuesto es que la producción que es igual a la renta (Y_t) y que ésta es función del capital, fuerza laboral y tecnología, la cual presenta rendimientos constantes a escala, es decir, que la misma es homogénea de grado uno, por lo que, si el capital y el trabajo se multiplica en una proporción λ , la función de producción se multiplica en misma proporción.

$$Y_t = F(K_t ; L_t ; A) \quad (3)$$

Donde:

Y_t = producción.

K_t = capital.

L_t = fuerza laboral.

A = tecnología.

“La conclusión principal del modelo de Solow es que la acumulación de capital físico no es suficiente para explicar ni el enorme crecimiento de la producción *per cápita* que ha tenido lugar en el tiempo” (Barro, 2010, pág. 60), dado que los factores de producción se consideran exógenos, como es el caso del progreso tecnológico y se introducen las variaciones al modelo que se consideran factores endógenos.

2.1.3. Teoría de crecimiento endógeno

Los modelos de crecimiento endógeno consideran que las principales fuentes de crecimiento de una economía se centran en el desarrollo del capital humano y del progreso tecnológico como factores fundamentales de producción, las cuales se determinan dentro del mismo sistema (Rubio, 2002).

En ese sentido, esta teoría introduce el supuesto de rendimientos constantes a escala para la producción, pero rendimientos crecientes para la acumulación de capital, en el cual el ahorro y la inversión pueden provocar un constante crecimiento considerando que el conocimiento constituye un tipo de capital y es un factor de producción tanto para formación de bienes como de servicios (Mankiw, 2000).

2.1.3.1. Economía de la energía

Según lo expuesto por Diaz (2012) “la economía de la energía estudia la utilización de los recursos y productos energéticos”. Asimismo, “estudia las fuerzas que conducen los agentes económicos (empresas, individuos, gobiernos) para el suministro de recursos energéticos, conservación de los mismos en otras formas de energía útil” (pág. 12).

Es importante mencionar que la “economía de la energía” se refiere al estudio de los mercados resultantes de las transacciones de los recursos energéticos, su aprovechamiento y disposición. “Esta línea de pensamiento ha utilizado una metodología empírica con el objetivo de determinar la relación entre la energía y el crecimiento económico, de modo que han utilizado herramientas estadísticas para probar la veracidad de sus argumentos” (Zamarripa, 2016, pág. 31).

Según lo expuesto por Arshad, *et al.* (2007) citado por Zamarripa (2016) el papel de la energía en el crecimiento económico de un país se puede englobar en dos enfoques, el primero por el lado de la demanda en donde la energía como producto les permite maximizar su utilidad o por el lado de la oferta como un factor de la producción, que conjuntamente con otros factores como el capital y trabajo maximiza su beneficio.

En esta línea de ideas y considerando lo expuesto en el Marco Referencial las cuatro posibles relaciones entre el crecimiento económico y el consumo de energía pueden ser: crecimiento, conservación, retroalimentación y neutralidad.

2.2. Contexto de crecimiento económico y consumo de energía eléctrica en Guatemala

Para comenzar es necesario conocer qué es el producto interno bruto (PIB) y cómo se construye.

2.2.1. Producto interno bruto (PIB)

Según Dornbusch, Fischer & Startz (2004) el producto interno bruto (PIB) es un indicador básico de producción y se define como “el valor de todos los bienes y servicios finales producidos en un país durante en un determinado periodo.” (pág. 25).

La conformación del PIB por el lado del gasto se presenta como una ecuación en donde el miembro izquierdo representa la oferta disponible en la economía y el derecho como la demanda agregada. Esta última es la suma del consumo privado, la inversión (formación bruta de capital), el gasto público y las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones) en una economía expresándose como:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + NX_t \quad (4)$$

Donde:

Y_t = PIB en dólares.

C_t = Consumo privado en dólares.

I_t = Inversión en dólares.

G_t = Gasto público en dólares.

NX_t = Exportaciones netas en dólares.

El PIB nominal representa los bienes producidos en una economía en un período determinado en términos de una moneda usualmente en dólares, pero puede expresarse en cualquier otra por lo que depende del nivel general de precios variando de un año a otro sin que signifique realmente que dicha economía haya aumentado su demanda agregada. Para eliminar esta dependencia y analizar el crecimiento económico es necesario reducir el efecto de la variación de los precios dividiendo el PIB nominal entre el deflactor de precios dando como resultado el PIB real.

Sin embargo, para considerar al PIB real como medida de bienestar es importante reconocer que este posee algunas deficiencias la principal es que este no considera la distribución de ingresos, excluye la mayoría de bienes que no se comercializan en el mercado formal, así como todas aquellas transacciones legales e ilegales dadas en la economía informal. Asimismo, el PIB real no considera ningún tipo de remuneración al tiempo de ocio óptimo y tampoco el daño ambiental como lo menciona Barro (2010).

2.2.1.1. Producto interno bruto en Guatemala

El producto interno bruto en Guatemala presenta un crecimiento promedio de aproximadamente 3.0 %, siendo la variación del período comprendido entre los años 2006 al 2007 de los más significativos derivado al contexto global que avecinaba la crisis financiera que explotó en el año 2008, lo cual bajó levemente el ritmo de crecimiento. En el año 2015 se visualizó otro cambio en la tendencia,

una baja tanto para el sector de inversión, así como en la actividad en global por los acontecimientos suscitados en el Gobierno de Otto Pérez Molina.

Es importante mencionar que en el 2011 el Banco de Guatemala (Banguat) adicionó nuevos sectores y/o subsectores de la economía para el cálculo del PIB lo cual provocó un cambio en el año base para el PIB real. Entre los riesgos externos (internacionales) que pueden afectar el crecimiento económico en las economías emergentes según lo presentado por el Banguat previstos a finales del año 2019 era el aumento de las tensiones geopolíticas, la contracción de la demanda interna en la economía de China y la desaceleración mayor a la prevista en el crecimiento de la República Popular de dicho país. Es importante destacar que en ninguna de las publicaciones del año 2019 se visualizaba una pandemia.

2.2.2. Consumo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica se refiere al consumo final de energía utilizada para diferentes actividades dentro de la economía de un país o dentro del hogar. Al momento de analizarse de manera *per cápita* se vuelve en un indicador aproximado del desarrollo y calidad de vida “ya que un incremento (en el consumo de energía eléctrica *per cápita*) puede interpretarse como mayor acceso a servicios y productos que la electricidad provee.” (Incyt URL (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar), 2018, pág. 52).

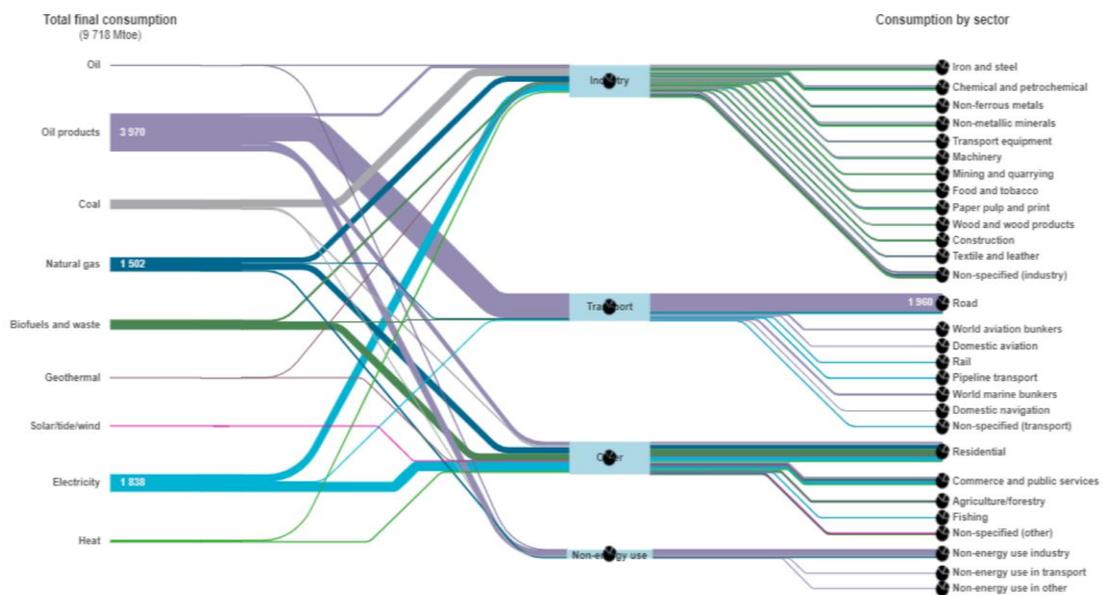
2.2.2.1. Comportamiento del consumo de energía eléctrica a nivel mundial

El comportamiento del consumo de energía en el mundo ha aumentado y la matriz de generación se ha diversificado, por lo que han cambiado las

necesidades de energía en cada sector de la economía. Al hablar de consumo final de energía se debe aclarar que las estadísticas presentadas por el Administrador de Información de Energía (EIA, por su nombre en inglés) no considera la energía utilizada para los procesos de transformación y uso interno de las generadoras de energía, sino que refleja en su mayor parte la entrega a los consumidores.

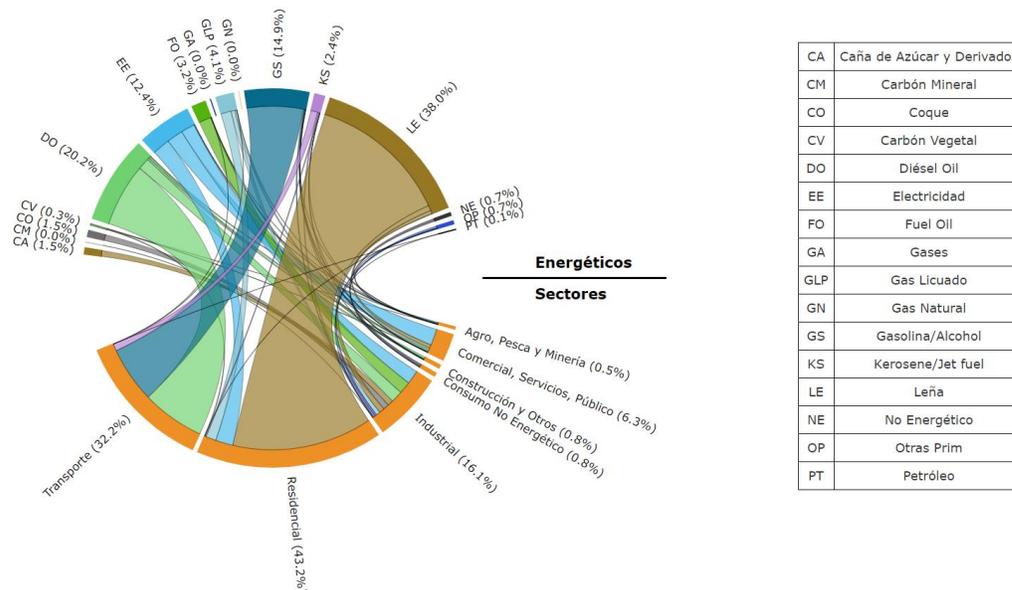
Se puede observar que el mayor uso de la energía eléctrica a nivel mundial se da en el sector residencial, misma situación se confirma en Centro América.

Figura 1. **Balance mundial del consumo final de energía por sector para el año 2017**



Fuente: Administrador de Información de Energía, EIA, (2019). *World Balance*. Consultado en noviembre de 2019. Recuperado de <https://www.iea.org/Sankey/#?c=World&s=Final%20consumption>.

Figura 2. Consumo de energía por sector en Centroamérica

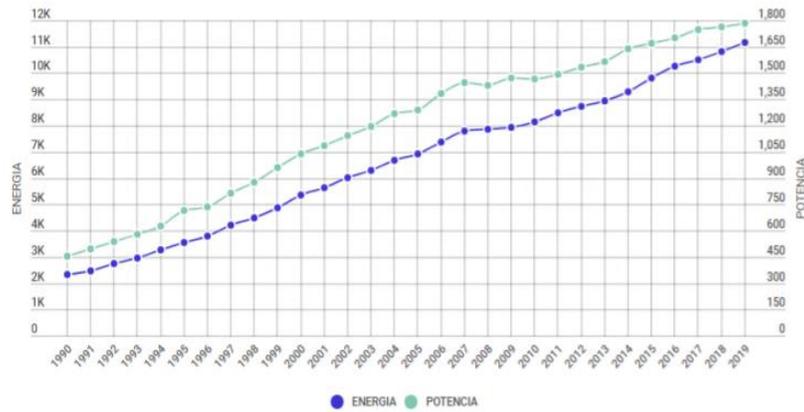


Fuente: Organización Latinoamericana de Energía, OLADE. *Participación del Consumo Final por Energético y Sectores: América Central*. Consultado en noviembre de 2019. Recuperado de <http://sielac.olade.org/consultas/tablero-participacion-consumo-energetico-sectores.aspx?or=603&ss=2&v=3>

2.2.2.2. Comportamiento del consumo de energía eléctrica en Guatemala

En Guatemala el energético más utilizado es la leña. En términos de energía eléctrica posee una tendencia positiva constante de 5.58 % en tema de energía y de un 4.91 % para la potencia. Al igual que en el PIB para el año 2008 se logra visualizar un punto de inflexión donde marca un cambio estructural, disminuyendo la tasa de crecimiento a un 3.48 % para el período del 2010 hasta el 2019, como se presenta en el Informe de Programación de Largo Plazo (Administrador del Mercado Mayorista, 2019).

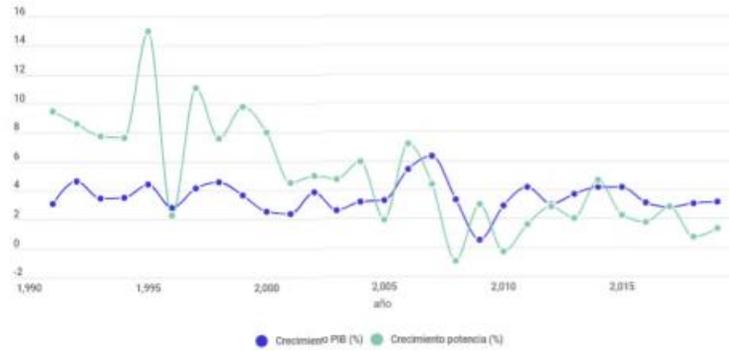
Figura 3. Consumo de energía eléctrica 1990 – 2019



Fuente: Informe de Programación de Largo Plazo, versión definitiva. *Comportamiento de la demanda de Energía y Potencia 1990 a 2018*. Consultado en abril de 2019. Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala.

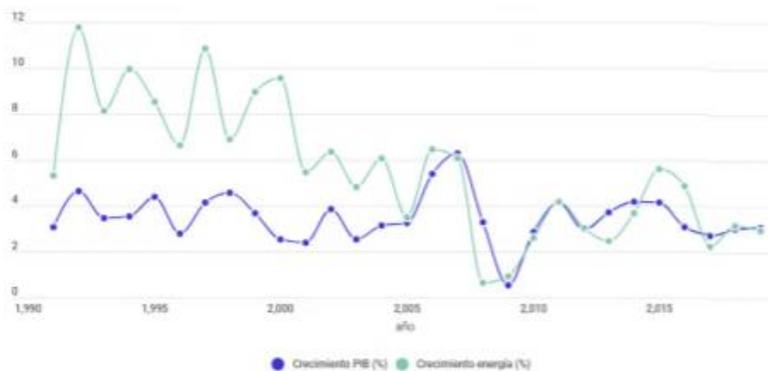
Es interesante resaltar que, en dicho documento el AMM (2019) menciona que “existe una correlación directa entre el comportamiento de la potencia y la energía con la evolución del PIB, especialmente para la energía” (pág. 6), sin embargo, dicha correlación ya no se aprecia tan fuerte a partir del 2017 para las variables de potencia y PIB.

Figura 4. **Crecimiento del PIB vs. crecimiento de la potencia**



Fuente: Informe de Programación de Largo Plazo, versión definitiva. *Potencia vs PIB*. Consultado en abril de 2019. Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala.

Figura 5. **Crecimiento del PIB vs. crecimiento de la energía**



Fuente: Informe de Programación de Largo Plazo, versión definitiva. *Energía vs PIB*. Consultado en abril de 2019. Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala.

3. MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación es necesario explicar la metodología abordada considerando que es un estudio con un diseño de investigación no experimental en el que se estudia la relación entre el consumo de energía eléctrica y el crecimiento económico en Guatemala, por lo que se analizó la información histórica del consumo de energía eléctrica y PIB ambas *per cápita* en Guatemala con el objeto de explicar las características propias de las series mediante estadística descriptiva y su interrelación en el tiempo mediante el modelo de vectores autorregresivos. Además, la investigación adoptó un corte longitudinal puesto que se analizó la evolución de las variables en el período comprendido entre 2001 y 2019 con frecuencia trimestral.

En ese sentido a continuación se presentan los conceptos básicos del modelo de Vectores Autorregresivos (VAR), las pruebas a las variables requeridas, las características de la prueba de causalidad de *Granger* y las pruebas de correlación.

3.1. Modelo de Vectores Autorregresivos (VAR)

Los modelos de Vectores Autorregresivos se utilizan para describir la interacción simultánea entre las variables y su relación cuando no es fácil de clasificarlas en endógenas y exógenas, pero se observa que dichas variables se relacionan a lo largo de un período de análisis.

Según Novales (2014) para la estimación de un modelo VAR se debe considerar:

Las variables en análisis dentro del modelo deben ser tratadas simétricamente, es decir, el modelo tiene tantas ecuaciones como variables y el rezago de las variables forman parte de todas las ecuaciones.

Una vez estimado el modelo, se aconseja no excluir algunas variables explicativas que no sean estadísticamente significativa de forma individual como los rezagos de las variables, derivado a que dejaría de ser un sistema de ecuaciones simétrico y estas hacen que la colinealidad entre variables explicativas sea importante.

En el modelo VAR se pueden estimar con bastante precisión los elementos globales del modelo, como el R^2 ; la desviación típica residual, y los mismos residuos, o el efecto global de una variable sobre otra. Sin embargo, no se aconseja realizar interpretaciones de coeficientes individuales en distintos retardos, ni llevar a cabo contrastes de hipótesis sobre coeficientes individuales. (pág. 6)

3.2. Representación del VAR

El VAR se puede expresar en forma primitiva o estándar, el cual enuncia a las variables contemporáneas explicadas por variables exógenas como intercepto, tendencia determinista o *dummies* (b_{10} ; b_{20}), por los efectos contemporáneos entre las variables (b_{12} ; b_{21}), así como por los efectos de los rezagos de las variables entre ellas (d_{11} ; d_{22}) y por innovaciones puras (o *shocks*, E_{yt} ; E_{zt}) como se observa a continuación:

$$y_t = b_{10} - b_{11}z_t + d_{12} y_{t-1} + E_{yt} \quad (5)$$

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + d_{22} z_{t-1} + E_{zt} \quad (6)$$

Al escribir el VAR primitivo de forma matricial se puede transformar el modelo a un VAR estándar y resolver los problemas de estimación presentes en el modelo primitivo. El primer problema presente en el VAR primitivo es la simultaneidad al presentarse ambas variables como dependientes una de la otra. El segundo problema es que al tratarse de un modelo dinámico existe la posibilidad de autocorrelación en los términos de error haciendo inconsistentes a los estimadores de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

El VAR estándar se representa de la siguiente manera:

$$y_t = a_{10} + a_{11} y_{t-1} + a_{12} z_{t-1} + e_{1t} \quad (7)$$

$$z_t = a_{20} + a_{21} y_{t-1} + a_{22} z_{t-1} + e_{2t} \quad (8)$$

Los términos e_{1t} y e_{2t} están compuestos por las innovaciones puras (E_{y_t} ; E_{z_t}) los cuales se comportan como ruido blanco, es decir, los términos de error poseen media igual a cero y varianza constante, sin embargo, e_{1t} y e_{2t} están correlacionados entre sí y que sean completamente atribuidos a innovaciones puras.

3.3. Pruebas por realizar a las variables

A continuación, se presentan las pruebas básicas necesarias para la estimación de un VAR:

3.3.1. Raíz unitaria

Una parte esencial para el desarrollo de vectores autorregresivos es que las series analizadas sean estacionarias, es decir, que posean una media y varianza constante y que su autocorrelación y correlación parcial tiendan rápidamente a

cero. Para determinar estas características se utiliza la prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller, a partir de un proceso autorregresivos de la forma que se presenta a continuación:

$$y_t = a_1 y_{t-1} + E_t \quad (9)$$

Si la constante a_1 es igual a 1 se dice que tiene raíz unitaria entonces la serie no es estacionaria. Para realizar la prueba iniciamos restando y_{t-1} , a ambos lados de la ecuación obteniendo:

$$\Delta y_t = d y_{t-1} + E_t \quad (10)$$

Donde, $d = a_1 - 1$.

Definiendo la hipótesis nula como $d = 0$, si no se rechaza la hipótesis nula entonces la serie cuenta con raíz unitaria.

3.3.2. Estabilidad y estacionariedad

Para la condición de estabilidad en un modelo autorregresivo de primer orden, $y_t = a_0 + a_1 y_{t-1} + E_t$, requiere que el valor absoluto del coeficiente a_1 sea menor a 1. Esto es equivalente a probar que el polinomio característico tenga raíz unitaria, el cual proviene de representar el modelo VAR mediante medias móviles (MA).

3.3.3. Causalidad de Granger

El orden de las variables para el cálculo del VAR es importante al momento de identificar el modelo siendo de interés ordenar las variables de la más endógena a la menos endógena.

Esta prueba consiste en comprobar si los rezagos de una variable existente en una ecuación logran explicar y/o afectar el comportamiento contemporáneo de la otra variable y predecirla. En otras palabras, se dice que una variable z *no causa, en sentido de Granger* a la variable y si al añadir rezagos de z a la ecuación principal no añade capacidad explicativa, es decir, que todos los coeficientes de los rezagos de z pueden ser iguales a cero.

$$H_0 = z \text{ no causa en sentido de Granger a } y \quad (11)$$

Al rechazar la hipótesis nula se dice que z causa en sentido de *Granger* a y , esta relación es bidireccional si y causa en sentido de *Granger* a z .

3.3.4. Función impulso-respuesta

La función impulso-respuesta es la representación de la respuesta dinámica de la variable y_t a una innovación en la variable z_t . Los coeficientes de la matriz de covarianzas pueden ser utilizados para generar los efectos de los *shocks* de E_{y_t} y E_{z_t} en el comportamiento a través del tiempo de las variables y_t y z_t , hasta que el *shock* se desvanezca. Dicho de otra forma “la técnica de impulso respuesta (...) representa la reacción de cada variable debido a *shocks* en las diferentes ecuaciones del sistema” (Zamarripa, 2016, pág. 81).

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo con base en la metodología planteada para alcanzar los objetivos antes establecidos.

4.1. Diseño

El diseño de investigación adoptado fue no experimental dado que se utilizó información histórica del consumo de energía eléctrica y PIB ambas *per cápita* en Guatemala con el objeto de explicar las características propias de las series mediante estadística descriptiva y su interrelación en el tiempo utilizando el modelo de vectores autorregresivos. Además, la investigación se considera de corte longitudinal porque se analizó la evolución de las variables durante el período de análisis.

4.2. Enfoque

El enfoque de la investigación fue cuantitativo y se basó en el análisis del comportamiento e interacción entre las variables antes mencionadas a lo largo del período de análisis.

4.3. Alcance

El alcance de la investigación fue explicativo puesto que se estudió la correlación entre las variables y su impacto o relación (estadísticamente significativa) en el crecimiento económico ante un incremento en el consumo de energía eléctrica en Guatemala.

4.4. Unidad de análisis

La población de estudio fue la economía guatemalteca en donde se analizó las variables de producto interno bruto (PIB) real para el crecimiento económico, el consumo, generación, exportación, importación y precio *spot* promedio de la energía eléctrica, todas *per cápita* en este país. La muestra fue la recopilación de datos históricos en el período de análisis y definiendo la frecuencia trimestral con el objeto de contar con el mayor número de observaciones posibles.

4.5. Período de la investigación

El período abarca del primer trimestre del año 2001 hasta el cuarto trimestre del año 2019.

4.6. Variables e indicadores

Todas las variables analizadas fueron de tipo numéricas continuas, unidimensionales y por su relación con el tiempo se clasifican como de flujo, las cuales se dividieron por el dato poblacional para trabajar en índices que faciliten su interpretación. Las variables son series de tiempo, es decir, son una “colección de observaciones de forma secuencial en el tiempo en las que el orden de observación es importante” (Catalán, 2004, pág.2).

A continuación, se presentan las variables del estudio y su clasificación:

Tabla I. **VARIABLES DE ESTUDIO**

Criterio / variable	Observable (endógena)	Manipulable (exógena)	Unidad de medida
Consumo de energía eléctrica <i>per cápita</i> .	X	X	kWh/ <i>per cápita</i>
PIB <i>per cápita</i> en dólares a precios constantes del 2010.	X	X	US\$/ <i>per cápita</i>
Generación de energía eléctrica <i>per cápita</i> .	X	X	MWh/ <i>per cápita</i>
Precio <i>spot</i> de la energía eléctrica nacional. (posdespacho)	X	X	US\$/MWh
Exportación de energía eléctrica <i>per cápita</i> .		X	MWh/ <i>per cápita</i>
Importación de energía eléctrica <i>per cápita</i> .		X	MWh/ <i>per cápita</i>

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla I. hay variables que son tanto endógenas como exógenas para el caso del sector eléctrico derivado que el objetivo de la investigación es determinar la relación entre dichas variables considerando que existen interacciones simultáneas entre ellas.

Por otro lado, para comodidad del investigador y presentación de resultados en tablas dentro del presente estudio se renombraron las variables de la siguiente manera:

- PIBp = PIB *per cápita*
- CEEp = Consumo de energía eléctrica *per cápita*
- GEEp = Generación de energía eléctrica *per cápita*
- EEEp = Exportación de energía eléctrica *per cápita*

- IEEp = Importación de energía eléctrica *per cápita*
- PSP = Precio *spot* promedio de la energía eléctrica nacional

4.7. Fases del desarrollo de la investigación

El proceso para alcanzar los objetivos propuestos dentro del alcance de la investigación en función al diseño del mismo fue:

4.7.1. Fase 1. Revisión documental y recopilación de datos

Esta fase es primordial para la realización de cualquier investigación por lo que se consultaron diferentes fuentes de información relacionadas con el estudio como libros y artículos científicos de los cuales se evaluaron las formas de abordar la temática, así como los resultados obtenidos en sus marcos de referencia que fueron el sustento para los antecedentes, marco metodológico y el planteamiento del desarrollo de la investigación. Es importante indicar que no se encontró un estudio específico para la relación entre el consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en Guatemala.

Asimismo, se creó la base de datos de la investigación mediante la recopilación de la información histórica de las variables de consumo, generación, exportación, importación y precio *spot* promedio referente a la energía eléctrica en Guatemala de los Informes de Transacciones Económicas e Informes Estadísticos Anuales publicados por el Administrador del Mercado Mayorista con frecuencia mensual.

Con relación al producto interno bruto se recolectó la información de la página del Banco de Guatemala cuya frecuencia es trimestral. Es importante indicar que se utilizó el PIB real con año base 2001 y 2013, utilizando como

mecanismo de traslape el supuesto de que las variaciones interanuales se mantienen aun considerando que en el año 2013 se incluyeron nuevos sectores en su medición. Asimismo, como se comentó anteriormente las variables a nivel fueron divididas por el dato poblacional, el cual se obtuvo de las proyecciones publicadas por el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE) cuya frecuencia es anual.

En este sentido, es necesario resaltar que las variables presentan tres frecuencias de datos diferentes (mensual, trimestral y anual), derivado de esto las variables se transformaron para trabajar en frecuencia trimestral. De manera que, para la estimación de los datos de población se obtuvo la tasa de crecimiento anual y luego se calculó su equivalente trimestral, lo cual no era el objetivo de la investigación. Por otra parte, para transformar los datos de consumo, generación, exportación e importación de energía eléctrica de forma trimestral se sumaron los valores de los meses correspondientes considerando que se trata de variables de tipo flujo. Por último, para disminuir la frecuencia del precio *spot* se calculó el valor promedio de los meses que conforman el trimestre correspondiente.

El número total de observaciones de cada variable es de 81 siendo el PIB el limitante para la frecuencia y período del estudio.

4.7.2. Fase 2. Descripción de las variables y cálculo de indicadores

Para la descripción de las variables se realizó en cuatro etapas, la primera fue la representación gráfica de las variables con el objeto de describir a simple vista el comportamiento de las mismas e identificar cambios estructurales o datos irregulares. Luego se calculó los estimadores de estadística descriptiva de las variables las cuales fueron: a) medidas de tendencia central (media aritmética y

mediana) y b) medidas de dispersión específicamente el rango (valor máximo y mínimo) y desviación estándar.

La tercera etapa fue calcular la correlación lineal entre las variables (bilateral) y por último se descompusieron las variables extrayendo de cada una su tendencia, estacionalidad y residuos.

Los resultados de esta fase pueden dar relaciones espurias si se interpretan directamente dado que pueden presentar un alto grado de correlación, ya sea por su comportamiento en el tiempo, su tendencia o estacionalidad sin tener realmente una relación causal entre las mismas.

Por otra parte, con el propósito de comparar los resultados del modelo descrito en el capítulo del marco metodológico se procedió a calcular los indicadores de Intensidad del consumo de energía eléctrica en Guatemala con las series trimestrales de consumo de energía eléctrica y PIB ambas *per cápita*, a fin de describir el requerimiento de energía eléctrica por unidad económica.

Asimismo, se calculó la elasticidad del consumo de energía eléctrica a fin de medir el cambio del consumo ante un cambio en el crecimiento económico de Guatemala.

Tabla II. **Indicadores**

Criterio / indicador	Numérica continua	Manipulable (exógena)	Nivel de medición	Unidad de medida
Intensidad del consumo de energía eléctrica.	X	X	Razón	KWh/ US\$
Relación entre consumo de energía y PIB, ambas <i>per cápita</i> para Guatemala.				

Continuación tabla II.

Criterio / indicador	Numérica continua	Manipulable (exógena)	Nivel de medición	Unidad de medida
Elasticidad del consumo de energía eléctrica.	X	X	Razón	adimensional
Relación entre la variación del consumo de energía eléctrica y el PIB, ambas <i>per cápita</i> para Guatemala.				

Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Fase 3. Prueba de causalidad

En esta fase se procedió a transformar las variables aplicando la primera diferencia del logaritmo lo que se interpreta como una tasa de variación. Asimismo, se realizó la prueba de raíz unitaria ampliada obteniendo como resultado series estacionarias y la prueba de causalidad en el sentido de *Granger* entre las variables endógenas para encontrar las relaciones entre ellas y evidenciar alguna de las hipótesis presentadas en el Marco Referencial.

4.7.4. Fase 4. Determinación del modelo VAR y funciones impulso-respuesta

En esta fase se calculó el modelo de vectores autorregresivos con el propósito de explicar la relación entre el consumo de energía eléctrica y crecimiento económico en Guatemala, dado la simultaneidad en su comportamiento y la dificultad de clasificarlas como endógenas o exógenas, como se evidenció en el marco referencial. Para lo cual se realizaron pruebas para determinar la cantidad de rezagos óptimos.

A partir del modelo VAR se realizaron las gráficas de las funciones de impulso-respuesta para analizar la incidencia de un cambio en el crecimiento económico en el consumo de energía eléctrica, así como en el comportamiento entre las otras variables del estudio.

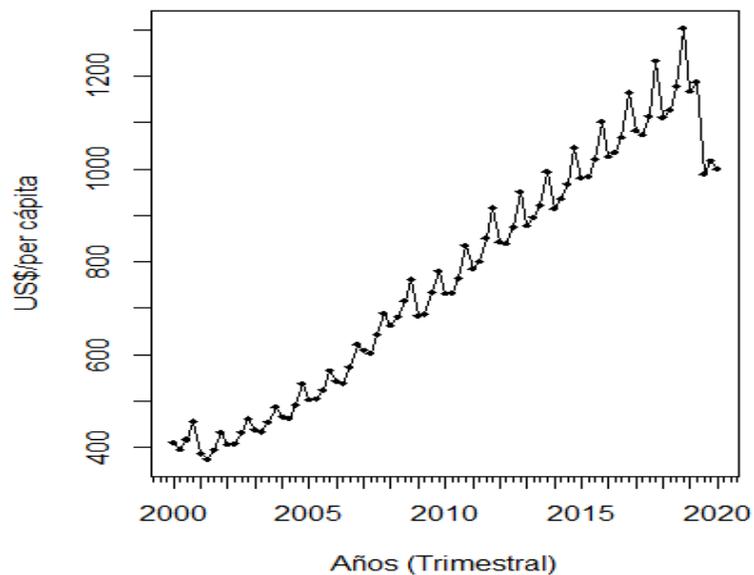
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación según las fases descritas en el capítulo anterior.

5.1. Descripción de variables

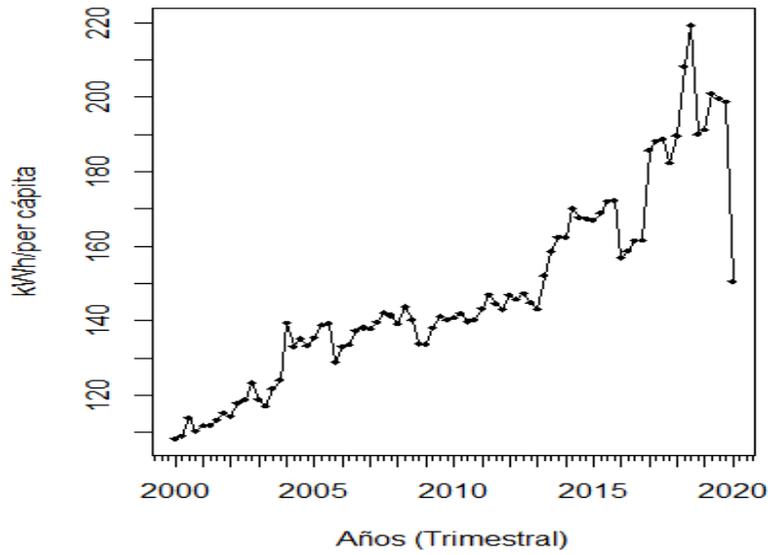
Según lo indicado en la fase 2 del capítulo de desarrollo de la investigación se presenta de forma gráfica las variables, así como su descomposición en sus elementos determinísticos:

Figura 6. **Producto interno bruto *per cápita* en Guatemala**



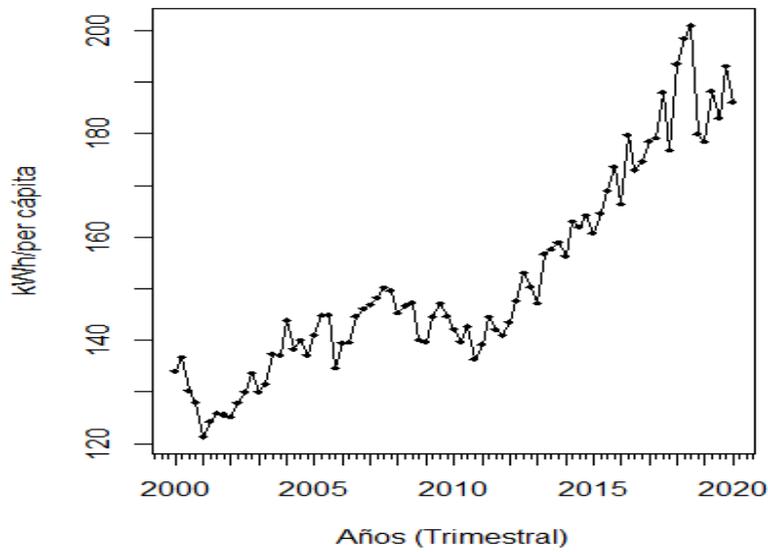
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 7. **Consumo de energía eléctrica *per cápita* en Guatemala**



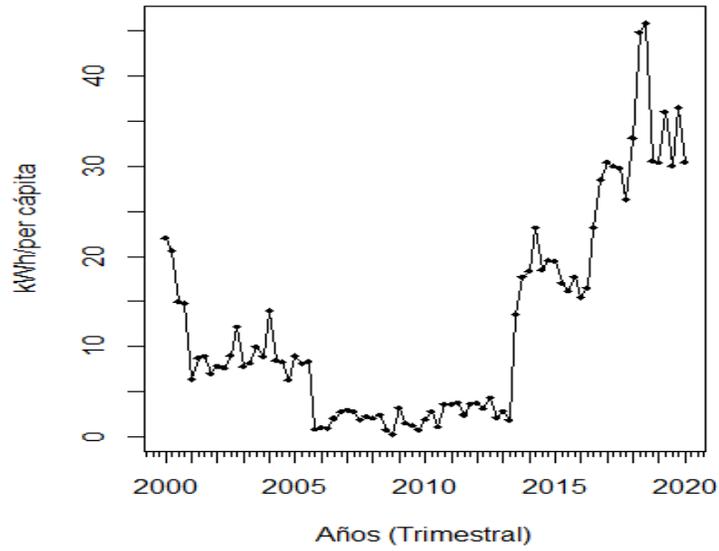
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 8. **Generación de energía eléctrica en Guatemala**



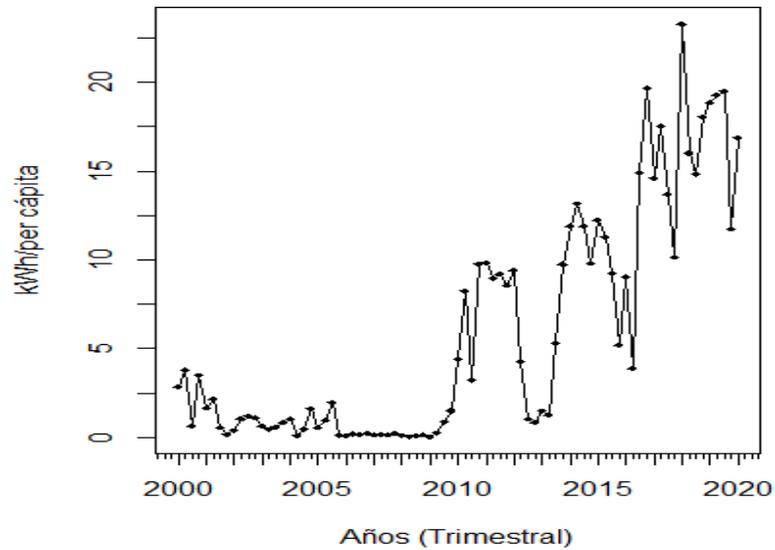
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 9. **Exportación de energía eléctrica en Guatemala**



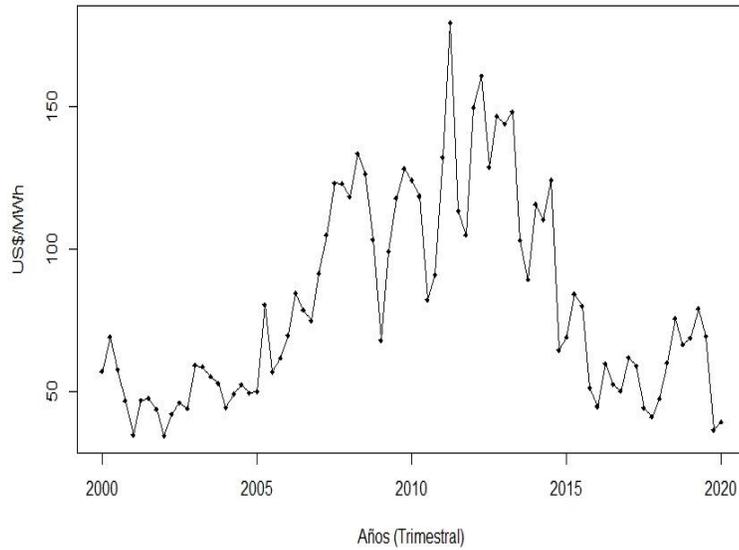
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 10. **Importación de energía eléctrica en Guatemala**



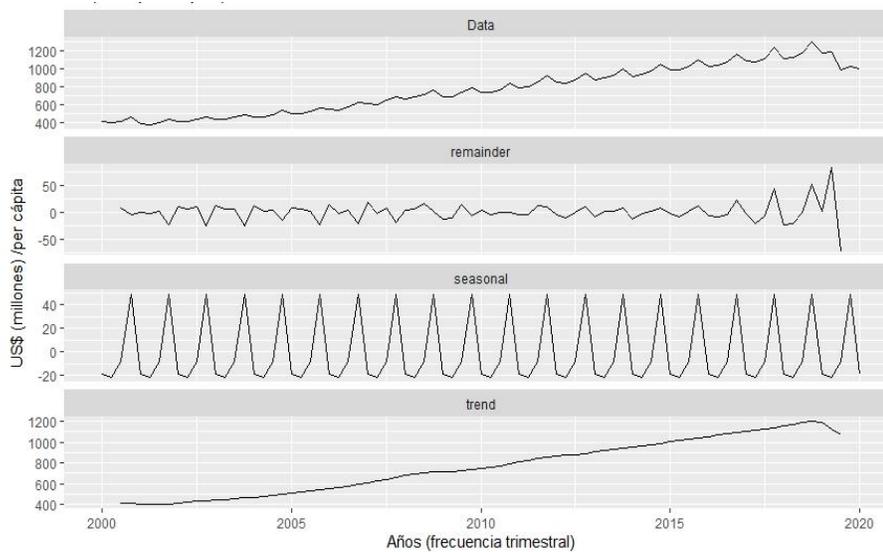
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 11. **Precio spot promedio de energía eléctrica en Guatemala**



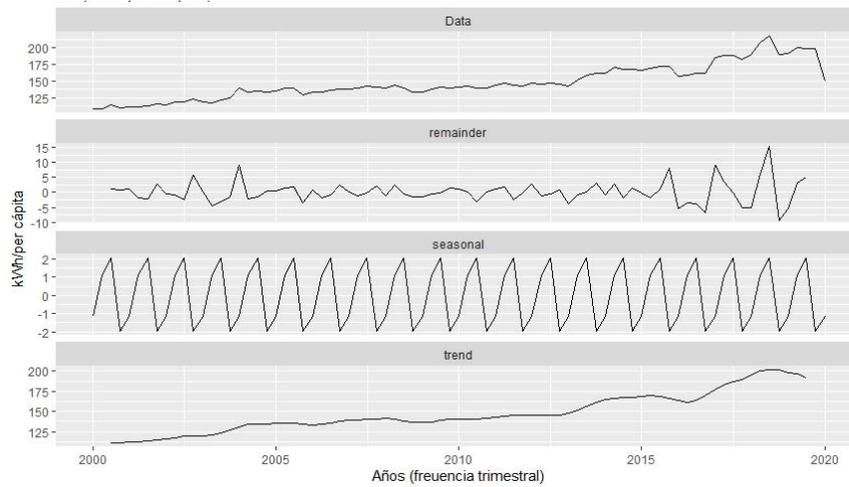
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 12. **Descomposición del PIB real *per cápita***



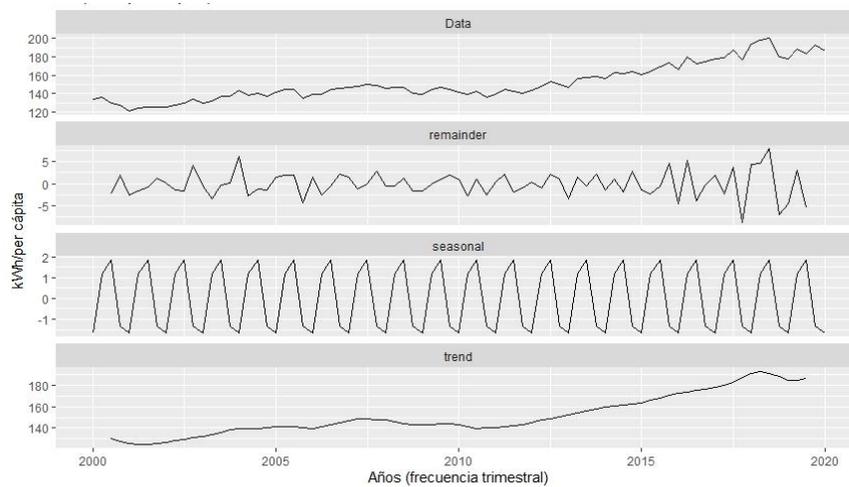
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 13. **Descomposición del consumo de energía eléctrica *per cápita***



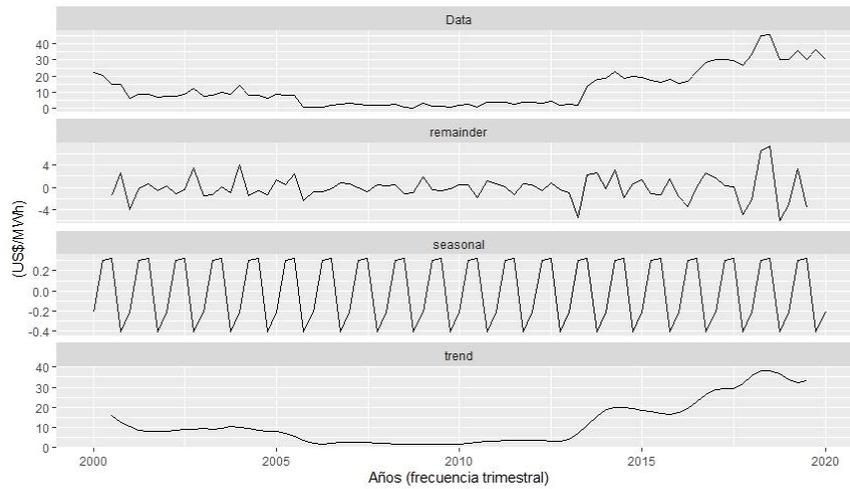
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 14. **Descomposición de la producción de energía eléctrica *per cápita***



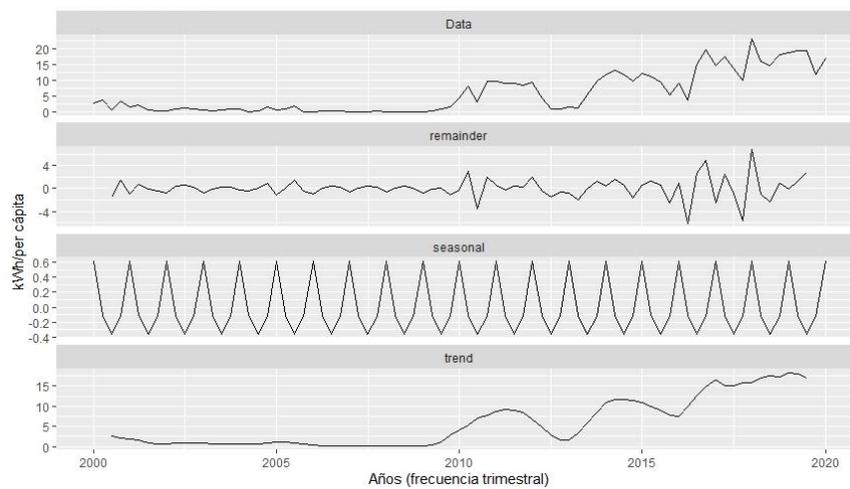
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 15. **Descomposición exportaciones de energía eléctrica *per* cápita**



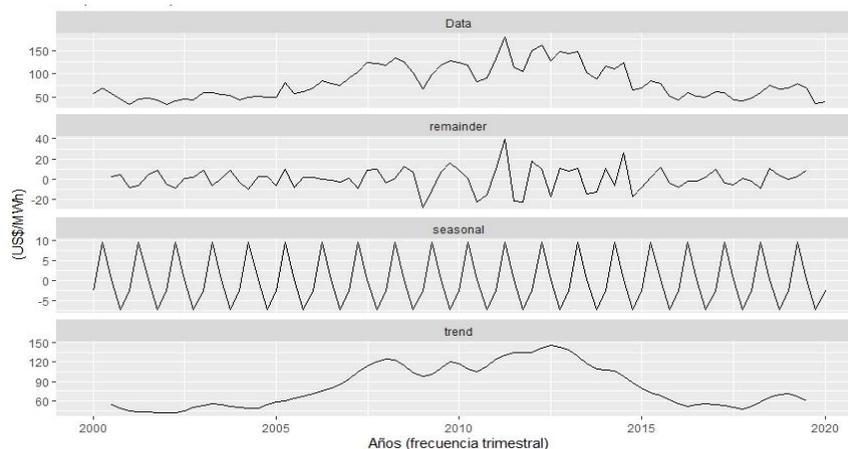
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 16. **Descomposición importaciones de energía eléctrica *per* cápita**



Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 17. **Descomposición del precio spot de la energía promedio**



Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

5.2. Descripción estadística de las variables

Según lo indicado en la fase 2 del capítulo de desarrollo de la investigación se presenta las matrices con las medidas de estadística descriptiva y de los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables:

Tabla III. **Medidas de estadística descriptiva de las variables**

Medida	PIBp	CEEp	GEEp	EEEp	IEEp	PSP
Media	760.40	147.69	151.38	12.22	5.72	81.44
Mediana	748.34	141.26	145.07	8.34	2.05	69.09
Valor máximo	1302.55	219.34	201.03	45.89	23.29	179.63
Valor mínimo	376.10	108.36	121.28	0.27	0.04	34.32
Desviación estándar	261.50	25.87	19.46	11.43	6.42	35.44
Coefficiente de variación	0.34	0.18	0.13	0.94	1.12	0.44
Sesgo	0.15	0.71	0.81	1.07	0.93	0.71
Curtosis	1.76	2.93	2.78	3.30	2.66	2.48
Clasificación	Leptocúrtica					

Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Tabla IV. **Matriz de correlación**

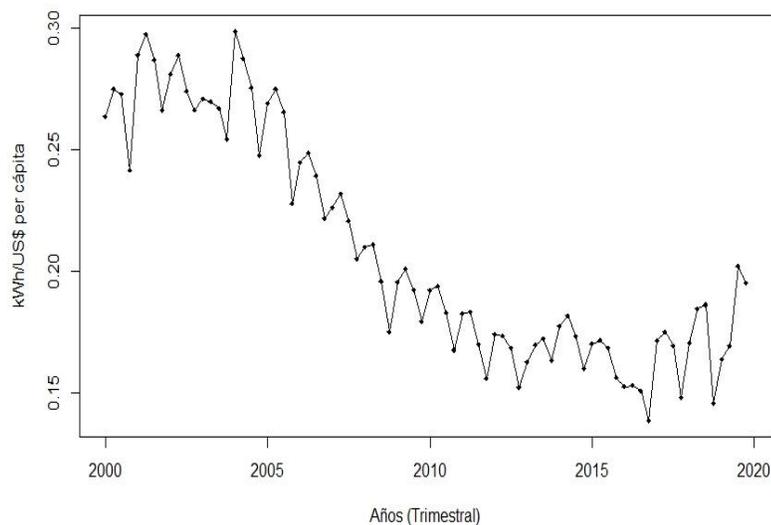
Variable	PIBp	CEETp	GEEp	EEEp	IEEp	PSP
PIBp	1.00					
CEETp	0.91	1.00				
GEEp	0.89	0.96	1.00			
EEEp	0.60	0.75	0.80	1.00		
IEEp	0.81	0.82	0.79	0.80	1.00	
PSP	0.18	0.04	-0.06	-0.44	-0.09	1.00

Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

5.3. Indicadores del consumo de energía eléctrica

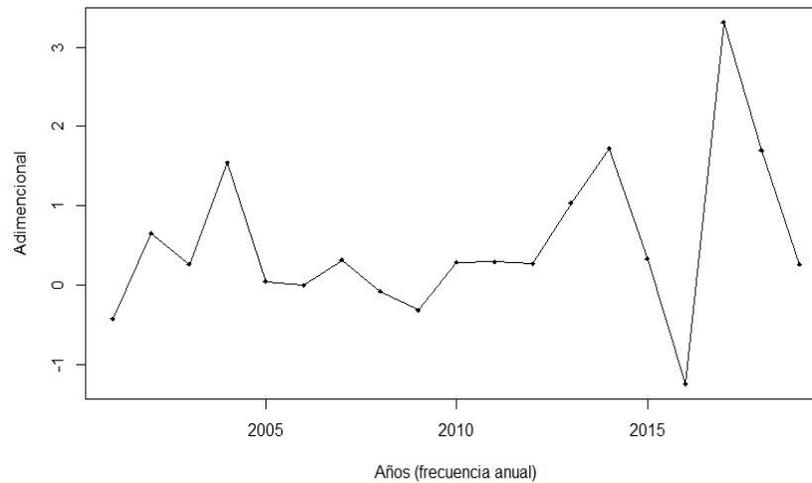
Según lo indicado en la fase 3 de la sección de desarrollo de la investigación a continuación se presentan de forma gráfica los indicadores calculados.

Figura 18. **Intensidad del consumo de energía eléctrica en Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 19. **Elasticidad del consumo de energía eléctrica**



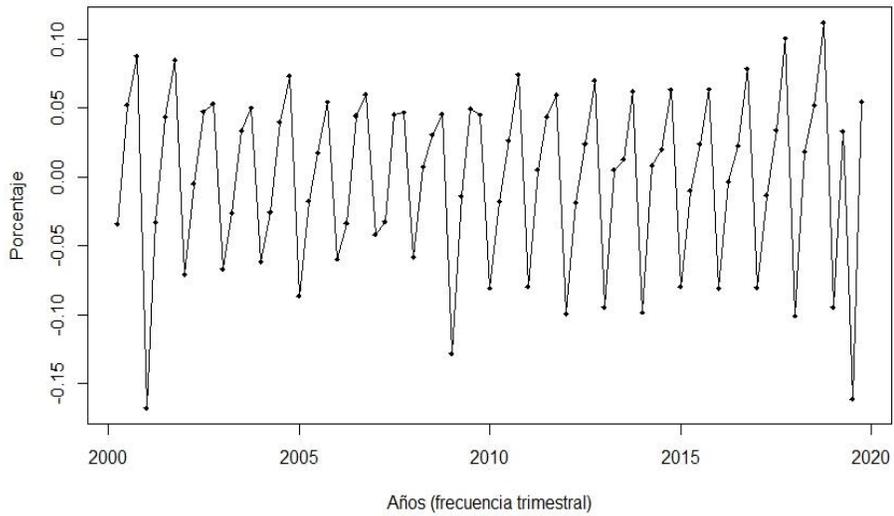
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

La elasticidad promedio del consumo de energía eléctrica respecto al PIB en Guatemala fue de 0.52.

5.4. Transformación de las variables

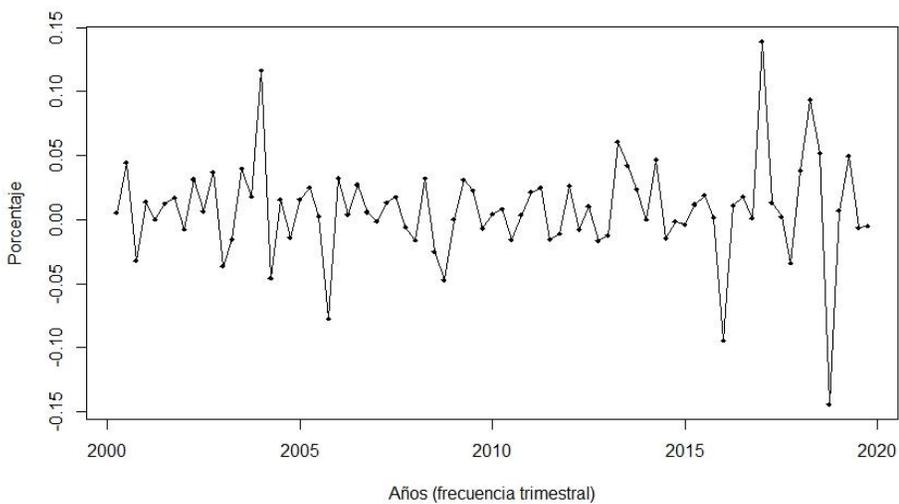
Según lo indicado en la fase 5 de la sección de desarrollo de la investigación a continuación se presenta de forma gráfica la descomposición de las variables.

Figura 20. **Variación de la tasa de crecimiento del PIB real *per cápita* (Dlog PIBp)**



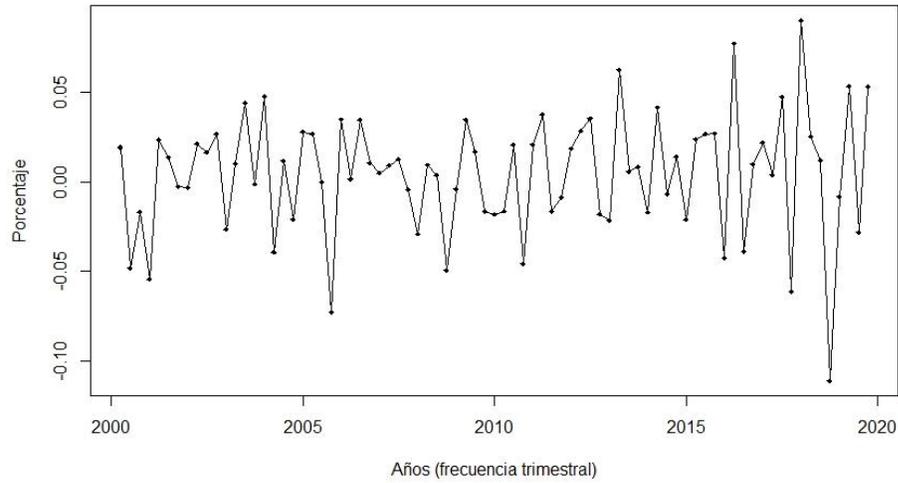
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 21. **Variación de la tasa de crecimiento del consumo de energía eléctrica *per cápita* (Dlog CEETp)**



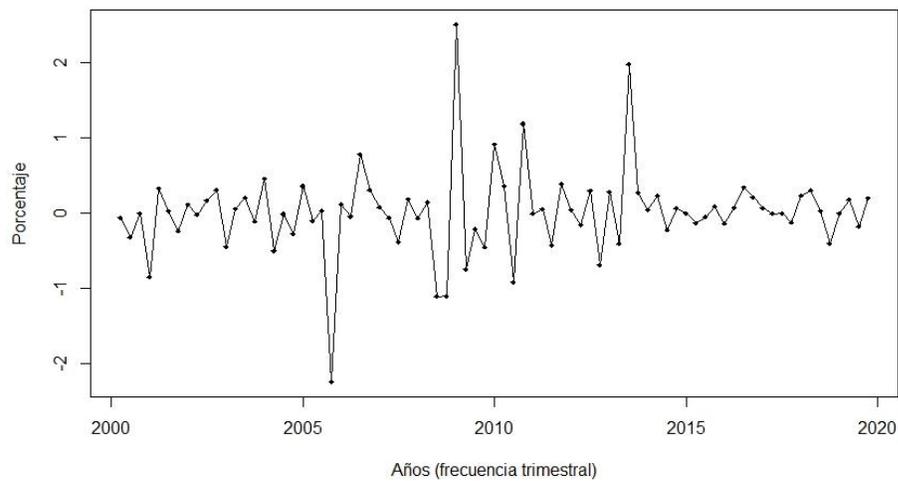
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 22. **Variación de la tasa de crecimiento de la producción de energía eléctrica *per cápita* (Dlog GEEp)**



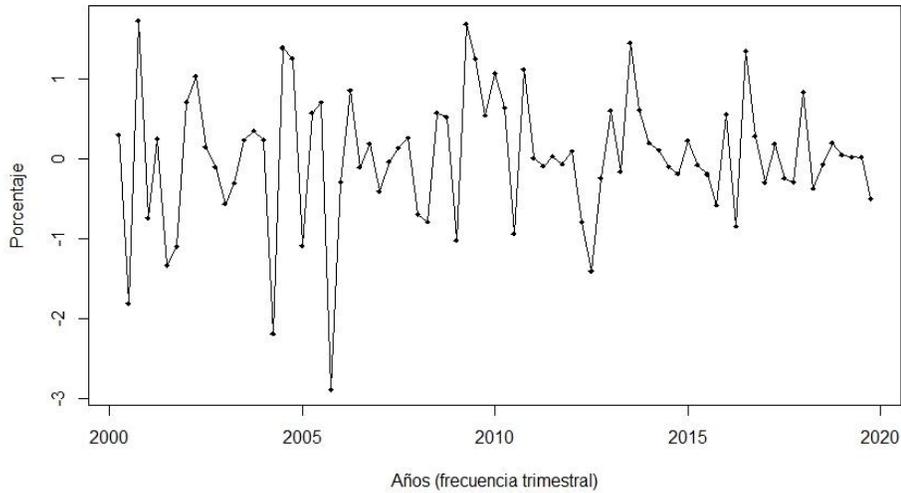
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 23. **Variación de la tasa de crecimiento de la exportación de energía eléctrica *per cápita* (Dlog EEEp)**



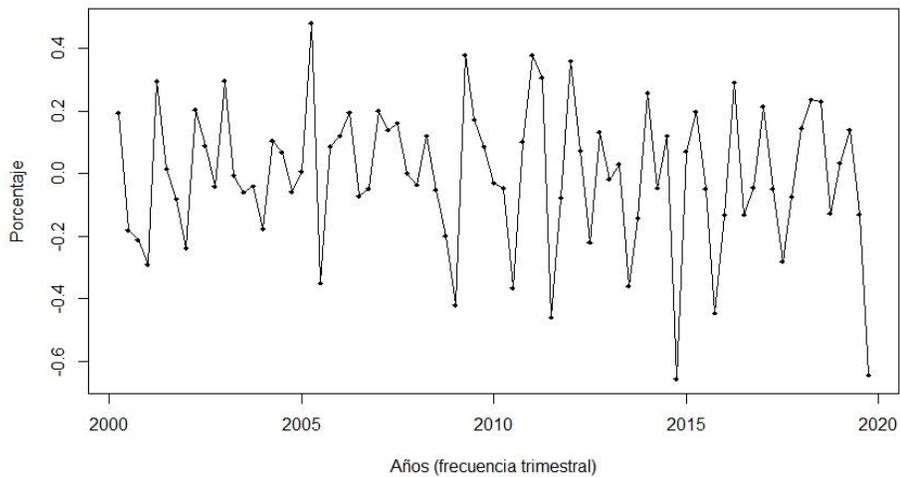
Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 24. **Variación de la tasa de crecimiento de la importación de energía eléctrica *per cápita* (Dlog IEEp)**



Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

Figura 25. **Variación de la tasa de crecimiento del precio *spot* de la energía promedio (Dlog PSP)**



Fuente: elaboración propia, empleando R Studio.

5.5. Estimación del modelo VAR

Con base a lo indicado en el desarrollo de la investigación a continuación se presentan los resultados del modelo VAR realizado.

5.5.1. Prueba de causalidad en el sentido de *Granger*

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de causalidad en el sentido de *Granger* lo cual permite evidenciar las hipótesis del capítulo del marco referencial.

Tabla V. Prueba de causalidad entre las variables endógenas

Relación entre variables			Hipótesis
DlogCEETp	→	DlogPIBp	Crecimiento
DlogPIBp	→	DlogPSP	Conservación
DlogGEEp	↔	DlogPIBp	Retroalimentación
DlogPSP	→	DlogGEEp	No aplica

Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

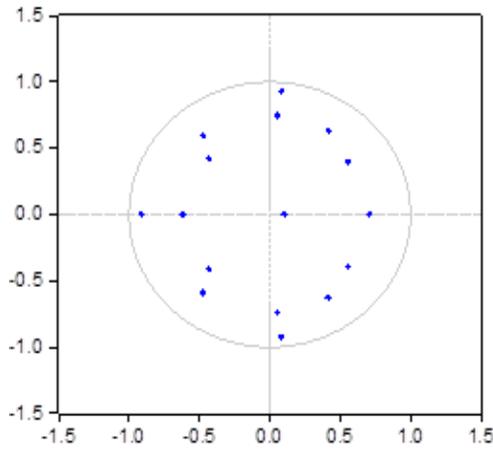
5.5.2. Modelo VAR

Es importante indicar que, el propósito del modelo es evidenciar el comportamiento de una variable ante una variación de la otra. Asimismo, es un modelo simétrico en que cada variable endógena se explica por la misma cantidad de rezagos de la misma y de las otras variables endógenas, así como por las variables exógenas, el cual se verificó su estabilidad con la prueba de raíz unitaria al modelo y análisis de residuos.

En ese sentido, el número que minimiza los criterios de información y por la frecuencia utilizada en las variables se consideró 4 rezagos. La representación del VAR estimado es:

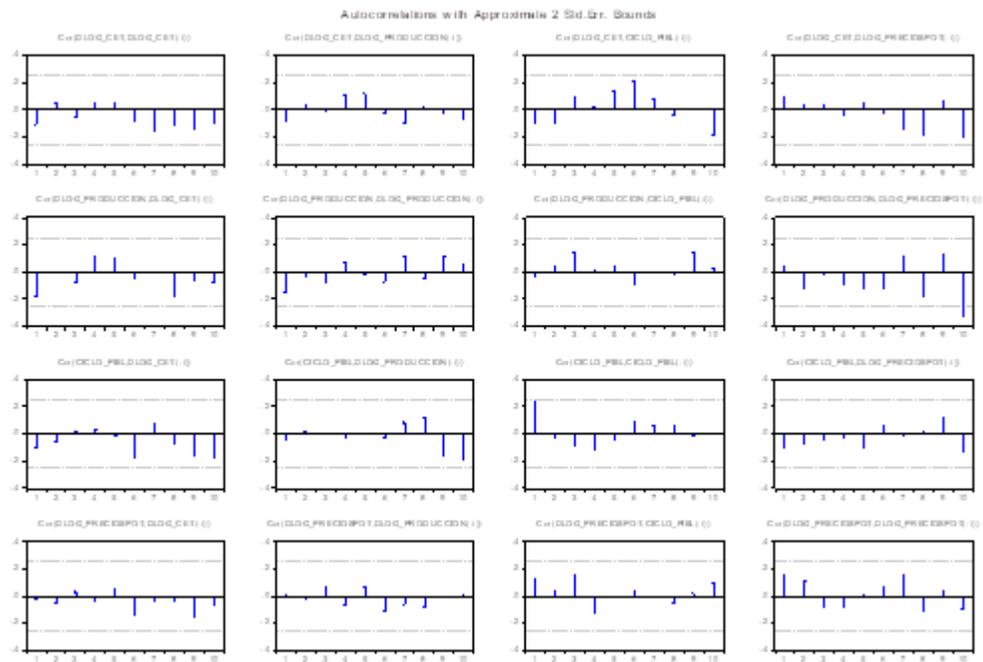
$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} Dlog\ CEET \\ Dlog\ GEEP \\ Dlog\ PIB \\ Dlog\ PSP \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} +0.01 \\ +0.01 \\ -0.01 \\ +0.00 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.05 & -0.08 & -0.01 & +0.02 \\ -0.24 & -0.34 & -0.32 & +0.01 \\ +0.12 & +0.02 & +0.20 & +0.05 \\ +0.55 & -0.69 & +0.46 & -0.08 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Dlog\ CEET_{p-1} \\ Dlog\ GEE_{p-1} \\ Dlog\ PIB_{p-1} \\ Dlog\ PSP_{p-1} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -0.18 & +0.05 & +0.02 & -0.03 \\ +0.12 & -0.30 & -0.01 & -0.01 \\ -0.07 & +0.09 & -0.11 & +0.04 \\ -0.82 & +0.08 & +0.40 & -0.25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Dlog\ CEET_{p-2} \\ Dlog\ GEE_{p-2} \\ Dlog\ PIB_{p-2} \\ Dlog\ PSP_{p-2} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -0.14 & -0.05 & -0.06 & -0.05 \\ -0.13 & -0.07 & -0.07 & -0.02 \\ +0.22 & +0.28 & -0.16 & +0.02 \\ -0.43 & +0.97 & +0.10 & -0.12 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Dlog\ CEET_{p-3} \\ Dlog\ GEE_{p-3} \\ Dlog\ PIB_{p-3} \\ Dlog\ PSP_{p-3} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -0.07 & +0.07 & -0.20 & +0.00 \\ +0.20 & -0.17 & -0.09 & +0.00 \\ +0.20 & +0.19 & +0.62 & -0.04 \\ +0.56 & -0.49 & -1.52 & -0.06 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Dlog\ CEET_{p-4} \\ Dlog\ GEE_{p-4} \\ Dlog\ PIB_{p-4} \\ Dlog\ PSP_{p-4} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -0.01 \\ +0.00 \\ -0.01 \\ -0.03 \end{bmatrix} Dlog\ EEEp + \begin{bmatrix} +0.04 \\ +0.01 \\ -0.01 \\ -0.03 \end{bmatrix} Dlog\ IEEp
 \end{aligned} \tag{12}$$

Figura 26. Prueba de raíz unitaria VAR



Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

Figura 27. Correlograma de los residuos del VAR



Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

Con relación a los residuos del modelo VAR estos se comportan como ruido blanco, es decir, cumplen con los criterios de homocedasticidad, normalidad y no se encuentran autocorrelacionados.

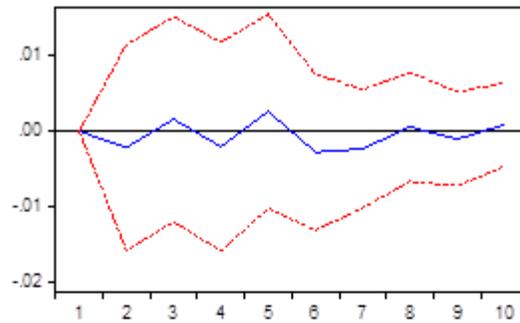
5.5.3. Funciones impulso – respuesta

Ahora bien, con el modelo antes descrito se procedió a calcular las funciones impulso respuesta en el cual se colocó como variables endógenas el PIB, el consumo de energía eléctrica, la producción de energía y el precio *spot* de la energía promedio.

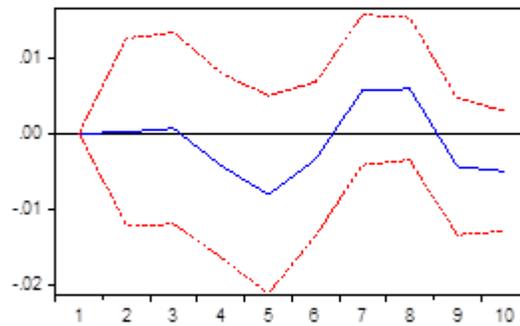
Figura 28. **Respuesta de la tasa de variación del consumo de energía eléctrica *per cápita* ante un shock de las otras variables endógenas**

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations ± 2 S.E.

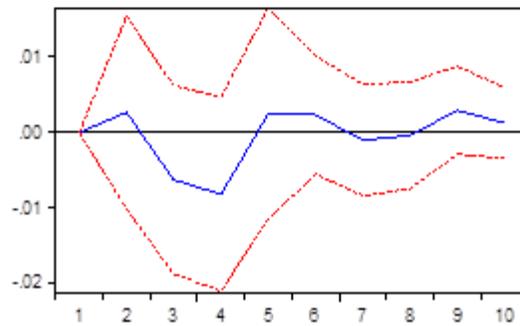
Response of DLOG_CET to DLOG_PRODUCION



Response of DLOG_CET to CICLO_PIBL



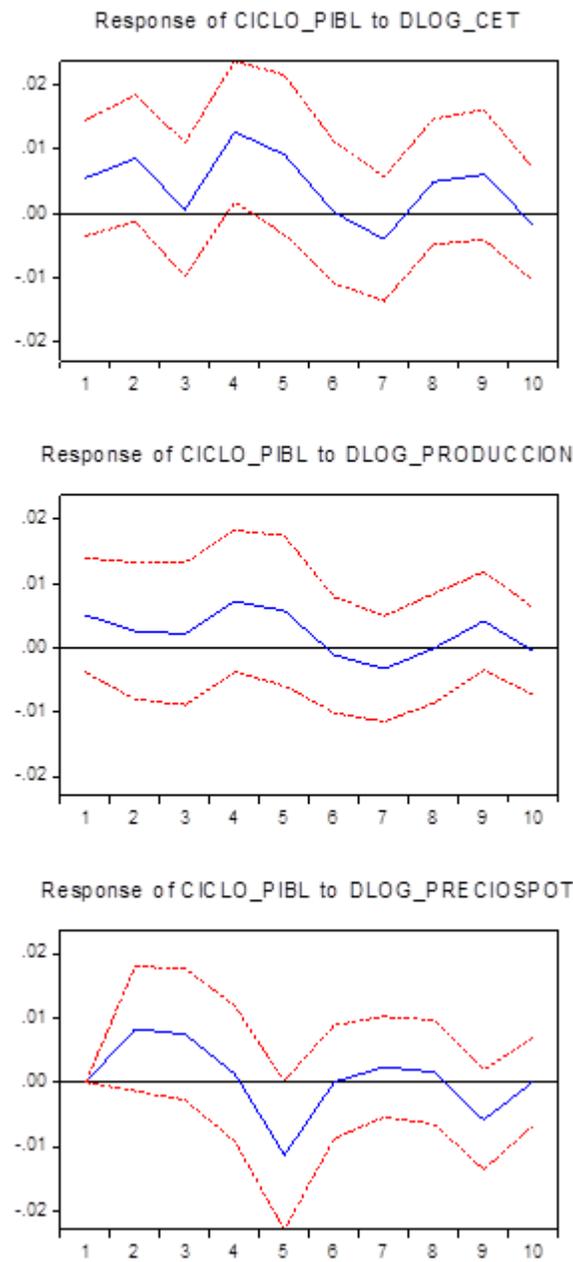
Response of DLOG_CET to DLOG_PRECIOSPOT



Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

Figura 29. **Respuesta de la tasa de variación del crecimiento económico *per cápita* ante un shock de las otras variables endógenas**

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations ± 2 S.E.

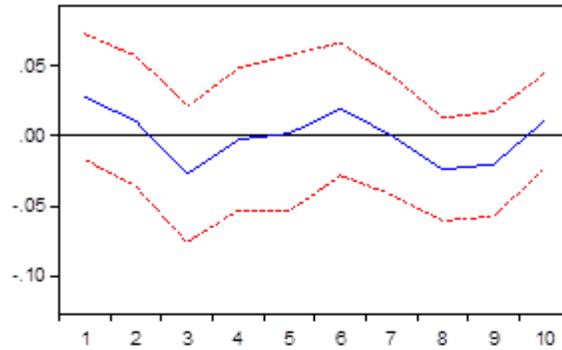


Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

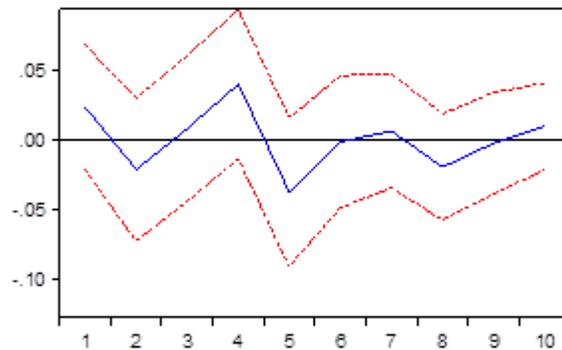
Figura 30. **Respuesta de la tasa de variación en el precio *spot* ante un shock de las otras variables endógenas**

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations ± 2 S.E.

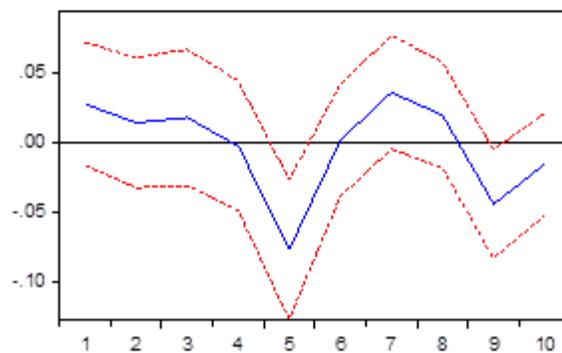
Response of DLOG_PRECIOSPOT to DLOG_CET



Response of DLOG_PRECIOSPOT to DLOG_PRODUCION



Response of DLOG_PRECIOSPOT to CICLO_PIBL

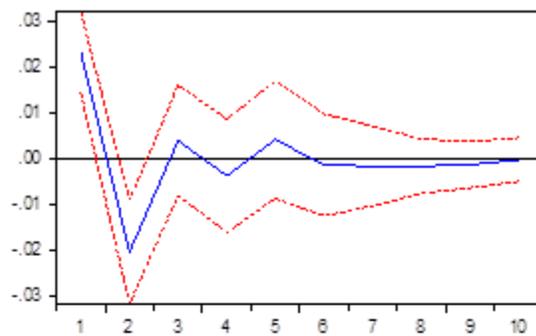


Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

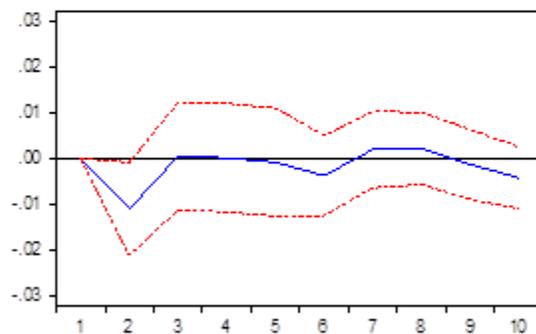
Figura 31. **Respuesta de la tasa de variación de la generación de energía eléctrica *per cápita* ante un shock de las otras variables endógenas**

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations ± 2 S.E.

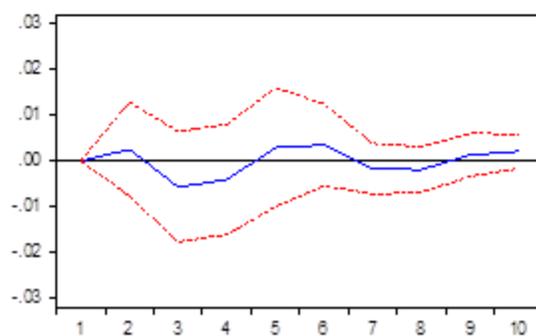
Response of DLOG_PRODUCION to DLOG_CET



Response of DLOG_PRODUCION to CICLO_PIBL



Response of DLOG_PRODUCION to DLOG_PRECIOSPOT



Fuente: elaboración propia, empleando Eviews

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente sección se discutirá sobre los resultados presentados en la sección anterior a fin de responder a las preguntas de investigación que originaron los objetivos del estudio.

Es importante indicar que únicamente se contó con 81 observaciones, resultado de la frecuencia trimestral para darle la menor manipulación posible y con la transformación de las variables se redujo dicho número de observaciones lo cual compromete la robustez del modelo y la generalización de los resultados, aunque estos se pueden considerar para un horizonte a corto plazo.

6.1. Descripción de las variables

Cómo se aprecia en la figura 6 el PIB describe un comportamiento positivo casi lineal con pendiente constante, lo cual se confirma con la descomposición de la variable mostrada en la figura 12, en donde se aprecia su tendencia, estacionalidad y residuos, por lo que es fácil de intuir que la variable no es estacionaria siendo necesaria su transformación.

Con relación a las variables de consumo y generación de energía eléctrica se puede observar que ambas tienen un comportamiento similar, tendencia positiva, con media y mediana parecida, esto derivado a la relación entre ambas variables considerando que la generación de energía resulta de la necesidad de cubrir una demanda. Al igual que la variable anterior los efectos de estacionalidad y tendencia provocan que las variables no sean estacionarias y sea necesaria su transformación.

Por otro lado, a simple vista las variables de exportación e importación de energía describen un comportamiento aleatorio con cambios abruptos, sin embargo, por su descomposición se puede apreciar que ambas tienen una tendencia positiva a medida que pasa el tiempo y juegan un papel importante en el sector lo cual puede ser por cambios en los mercados externos, la oferta y apertura del mercado interno para realizar transacciones, entre otros.

El precio *spot* de la energía evidencia un comportamiento aleatorio sin una tendencia constante durante el período de análisis. Considerando que su cálculo depende del comportamiento de la demanda, disponibilidad y tipo de generación en un momento determinado. Por esta razón, su comportamiento no es tan fácil de predecir, aunque sí cuenta con un componente de estacionalidad marcado.

Ahora bien, en la tabla IV. se presenta la matriz de correlación entre las variables en la cual se puede observar un coeficiente de correlación de 0.91 entre el crecimiento económico y el consumo de energía eléctrica ambas *per cápita* en Guatemala resultando una correlación positiva fuerte, sin embargo, esto no implica causalidad entre las mismas dado que ambas tienen una tendencia positiva y conforme se avanza en el periodo de análisis ambas aumentan.

Asimismo, el coeficiente de correlación entre el crecimiento económico *per cápita* y el precio *spot* promedio de la energía es de 0.18, indicando una correlación positiva débil entre las variables. Las únicas correlaciones negativas son las que involucran al precio *spot* promedio con la generación, importación y exportación de energía eléctrica *per cápita* siendo casi significativas para la generación e importación.

6.2. Indicadores del consumo de energía eléctrica

La intensidad del consumo de energía eléctrica en Guatemala presenta una tendencia negativa entre los años 2001 al 2016 aproximadamente, lo cual permite interpretar que a medida que aumentaba la actividad económica por persona en el país el requerimiento de energía eléctrica disminuía, comportamiento que cambia a partir del 2016 mostrando una pendiente positiva.

La elasticidad del consumo de la energía eléctrica no presenta tendencia y el comportamiento de un cambio en la tasa de crecimiento del consumo de energía eléctrica ante una variación del crecimiento económico, puede representar una respuesta positiva como el año 2017 con respecto al 2016 o negativa como se aprecia para el año 2016 con respecto al 2015, que fue un año con un bajo nivel de crecimiento económico dado que se redujo la inversión dentro del país al perder la confiabilidad en el gobierno.

Estos indicadores comprueban que existe una relación a simple vista de las variables de interés, sin embargo, esta relación puede ser afectada por la dependencia de las mismas con el tiempo.

6.3. Transformación de las variables

Al transformar las variables a nivel en la primera diferencia del logaritmo, las variables se les eliminan sus componentes determinísticos como lo son su tendencia y estacionalidad. Sin embargo, es difícil de determinar a simple vista si las mismas son estacionarias como se aprecia en las figuras 21 al 25 pero en la prueba de estacionalidad, raíz unitaria ampliada, se demostró que las variables eran estacionarias.

6.4. Pruebas de causalidad de *Granger*

Es importante mencionar que, para el periodo de análisis y los datos disponibles se encontró una relación unilateral de causalidad en el sentido de *Granger* entre la variación del crecimiento económico y la tasa de variación del consumo de energía eléctrica, interpretando que una variación en el PIB afecta al consumo de energía eléctrica pero no de forma inversa, es decir, aunque el consumo aumente este no provocaría una mayor actividad económica validando para estos resultados la hipótesis de conservación tratada en la sección de estudios previos, siendo contradictorio con los resultados de Apergis & Payne (2009) para Centroamérica que evidenciaron la hipótesis de retroalimentación.

Por lo que una política energética que motive un mayor y más eficiente consumo de energía eléctrica (automatización de procesos, industrialización o tecnificación) aportará un incremento en la actividad económica del país.

Lo anterior, resalta la importancia de enmarcar el periodo de análisis, la calidad y disponibilidad de los datos, así como el método utilizado, lo cual limita extrapolar los resultados a otro país y periodo de análisis.

Asimismo, se aprecian tres relaciones bilaterales o de retroalimentación entre la variación de la tasa de crecimiento económico y el precio *spot* promedio, así como entre el precio *spot* con el consumo y generación de energía eléctrica, lo cual tiene sentido considerando que el precio *spot* responde a un despacho económico realizado por el ente operador del sistema, quien minimiza el precio con base al conjunto de energía generada disponible para satisfacer una demanda de energía, si aumenta el consumo es necesario suplir con más generación disponible y conforme este va aumentando el precio aumenta.

Por otro lado, con un nivel de confianza del 5.0 % también existe una relación bilateral entre la variación de la tasa del crecimiento de precio *spot* y el crecimiento económico, un aumento en la actividad económica incide en un aumento en el precio de la energía eléctrica y considerando lo mencionado anteriormente, esto puede deberse a que, al aumentar la tasa de variación del PIB, este incide en el consumo de energía eléctrica, que a su vez incide en el precio *spot* de la energía.

6.5. Representación del VAR

Las variables logran explicar un 46.0 % del comportamiento de la variación del crecimiento del consumo eléctrico, un 50.2 % el comportamiento de la variación de la tasa de crecimiento de la generación de energía eléctrica, un 62.8 % de la variación del crecimiento económico en Guatemala y un 53.3 % de la tasa de variación del precio *spot* de la energía.

Aunque no se puede hacer inferencia del valor de los coeficientes de forma individual se puede apreciar que para la variación del consumo de energía eléctrica, los rezagos del crecimiento inciden negativamente, al igual que el primer y tercer rezago de la variación de la producción de energía y tiene una relación inversa con la exportación de energía como se esperaría derivado que al disminuir el consumo interno, el exceso de generación puede ser exportado y de manera inversa, al aumentar el consumo de energía eléctrica será necesario abastecerse con importación considerando el supuesto que ya se ha despachado la generación local disponible.

Tanto la tasa de variación del crecimiento económico como el precio *spot* tienen una relación inversa con las exportaciones e importaciones de energía que

a medida que las exportaciones e importaciones aumentan, las variables endógenas disminuyen.

Ahora bien, al analizar las funciones impulso respuesta se puede observar que, ante una variación del consumo de energía eléctrica, existe una variación leve positiva en la tasa de crecimiento económico significativo un año después de que dicha innovación suceda, pero no se aprecia ninguna relación estadísticamente significativa en el caso contrario. De manera que, la hipótesis de relación que se cumple es la hipótesis de crecimiento, la cual es una relación unilateral entre la tasa de variación del PIB al consumo de energía eléctrica ambas *per cápita*. Se debe considerar que parte de la demanda de energía del país se encuentra altamente subsidiado (consumo regulado menor a 100 kWh) y que la demanda se encuentra dividida entre una porción regulada y otra liberalizada lo cual introduce imperfecciones de mercado, aunque exista variación en la actividad económica, la demanda base de energía siempre se tratará de mantener y satisfacer.

Por otro lado, se aprecia una respuesta negativa significativamente en la variación del precio *spot* promedio ante una variación de la tasa de crecimiento del PIB, dicho de otra manera, ante un *shock* en la actividad económica reduce el precio *spot* y el efecto es perceptible un año posterior de que este suceda, aunque no es tan significativo (por las bandas de confianza utilizadas al graficar), sin embargo, al aumentar el coeficiente de confianza el efecto sería bilateral.

Por último, se aprecia que ante un choque de tasa de variación del crecimiento económico o del consumo de energía eléctrica se tiene una respuesta negativa en la tasa de variación de la generación de energía eléctrica y su incidencia dura hasta 2 trimestres y luego esta vuelve a su normalidad.

CONCLUSIONES

1. Para el período de estudio se evidenció una correlación positiva fuerte entre el crecimiento económico y el consumo de energía eléctrica en Guatemala.
2. Asimismo, en promedio, el consumo de energía eléctrica en Guatemala tiene una respuesta semirígida en el mismo sentido ante una variación en la actividad económica, es decir, ante un aumento en el PIB, el consumo de energía eléctrica aumenta en menor proporción.
3. Se evidenció una relación unilateral del consumo de energía eléctrica hacia el crecimiento económico validando así la hipótesis de crecimiento para los años 2001 al 2019 en Guatemala.
4. El impacto de una perturbación en la actividad económica no presenta una respuesta sostenida a largo plazo en el consumo de energía eléctrica, sin embargo, este es perceptible (estadísticamente significativo) hasta un año después de su incidencia y luego esta vuelve a su comportamiento normal. Asimismo, los efectos de una variación del PIB son significativos hasta un año posterior en el precio *spot* de la energía.

RECOMENDACIONES

1. Adicionar una variable que permita modelar las imperfecciones del mercado, como lo es el subsidio al consumo de energía eléctrica en el sector residencial, para próximas investigaciones.
2. Que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica realice más trabajos de investigación, sobre el comportamiento del mercado eléctrico en Guatemala y su relación con otros mercados.
3. Analizar el impacto de las políticas energéticas en las variables de consumo, producción y exportaciones netas de energía eléctrica y cómo estas inciden en la actividad económica del país a largo plazo mediante otra metodología como el vector de corrección de error, así como realizar el análisis por sector de consumo.
4. Crear índices adelantados compuestos que anticipen caída o picos del precio *spot*, por ejemplo, utilizando el análisis de componentes principales.

REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista. (2019). *Programación de Largo Plazo, Versión Definitiva, Mayo 2019 - Abril 2020*. Guatemala: Autor.
2. Apergis, N., & Payne, J. (2009). Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energía Economics*, 31, 211-216.
3. Arias, R. (2008). Crecimiento y Desarrollo. *OIDLES*, 8 (16). Recuperado de: <https://www.eumed.net/rev/oidles/16/crecimiento-economico.html>
4. Barro, R. J. (2010). *Intermediate Macro*. Mason, Ohio: South-Western, Cengage Learning.
5. Belke, A., Dobnik, F., & Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33 (5), 782-789.
6. Benito Muela, S. (2014). Teoría del Crecimiento Económico. En S. Benito Muela, *Apuntes de Macroeconomía IV*. Madrid: Departamento de Análisis Económico II (UNED), 1-22.
7. Carballo Pou, M. Á., & García Simón, J. M. (julio a septiembre de 2017). Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para

España y las grandes economías europeas. *El Trimestre Económico* LXXXIV, 3 (335), 571-609.

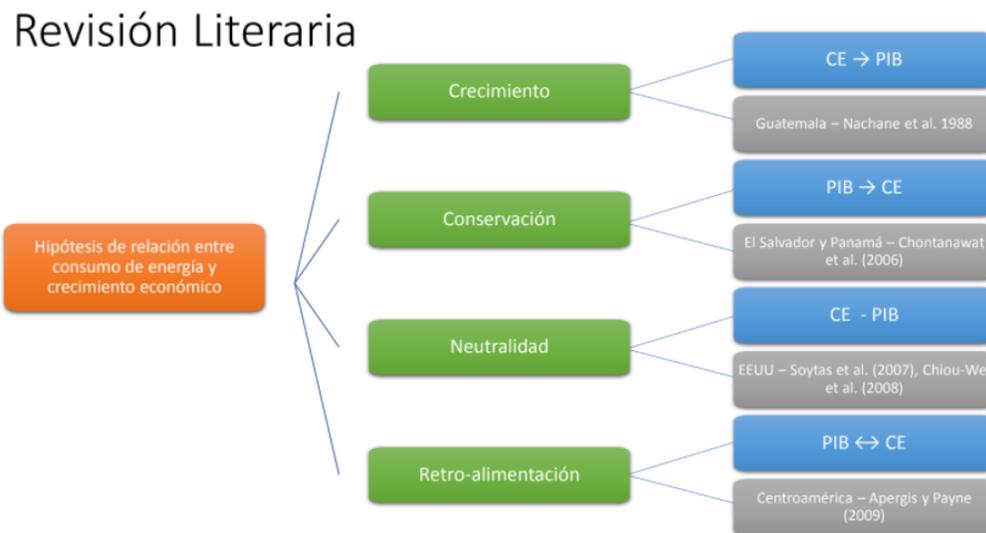
8. Castillo Martín, P. (2011). Política Económica: Crecimiento Económico, Desarrollo Económico, Desarrollo Sostenible. *Revista Internacional del Mundo Económico y del Derecho*, III (12).
9. Catalán, C. E. (2004). *Series Temporales*. Laboratorio de Estadística, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
10. Díaz, D. E. (2012). La Economía de la Energía: Una Introducción teórica al análisis Costo-Beneficio ya la asignación eficiente de los recursos. *Kairos: Revista de temas sociales*, 1(30), 3-24.
11. Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2004). *Macroeconomía*. México D.F.: McGraw Hill.
12. Faisal, F., Tursoy, T., & Ercantan, O. (2017). The relationship between energy consumption and economic growth: Evidence from non-Granger causality test. *Procedia computer science*, 120, 671-675.
13. Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Ferrer, J., & Reyes, O. (2014). Paradojas y riesgos del crecimiento económico en América Latina y el Caribe: Una visión ambiental de largo plazo. *Serie medio ambiente y desarrollo*, 156, 1-51.
14. Gómez-López, C. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente*, 3 (9), 67-80.

15. Incyt URL (Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). (2018). *Perfil energético de Guatemala: Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Autor.
16. Jima Bravo, D. S. (2019). *El consumo de energía eléctrica de Ecuador y su incidencia en el producto interno bruto, período 1980-2016*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
17. Mankiw, G. (2000). *Macroeconomía 4ta*. Barcelona, España: Antoni Bosch.
18. Marroquín Arreola, J., & Ríos Bolívar, H. (2017). Crecimiento económico, precios y consumo de energía en México. Ensayos. *Revista de economía*, 36 (1), 59-78.
19. Nachane, D., Nadkarni, R., & Karnik, A. (1988). Co-integration and causality testing of the energy-gdp relationship: a cross-country study. *Applied Economics*, 20 (11), 1511-1531.
20. Novales, A. (2014). *Modelos vectoriales autoregresivos*. Madrid, España: Universidad Complutense.
21. Pérez Candela, E. (6 de noviembre de 2012). Teoría del Crecimiento *Económico*. Economía Para Todos. Recuperado de: <https://econcorp.blogspot.com/>

22. Romer, D. (2006). *Macroeconomía Avanzada*. Madrid, España: McGraw-Hill.
23. Rubio, C. H. (2002). La teoría del crecimiento endógeno y el comercio internacional. *Cuadernos de estudios empresariales*, 12 (95), 1-18.
24. Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. Barcelona: Antoni Bosch.
25. Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62 (3-4), 482-489.
26. Squalli, J. (2007). Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of opec members. *Energy Economics*, 29 (6): 1192-1205.
27. Vera, J., & Kristjanpoller, W. (2017). Causalidad de *Granger* entre composición de las exportaciones, crecimiento económico y producción de energía eléctrica: evidencia empírica para Latinoamérica. *Lecturas de Economía* (86), 25-62.
28. Zamarripa Villa, N. (2016). *Consumo de Electricidad y Crecimiento Económico en México: Análisis de Series de Tiempo y Prospectiva*. (Tesis de maestría). El Colegio de la Frontera Norte, México.

APÉNDICES

Apéndice 1. Resumen hipótesis de relación entre PIB y consumo de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Estacionariedad de las variables

Variable	No. de rezagos	t-estadístico	Valores críticos de prueba		
			1 %	5 %	10 %
Dlog PIBp	3	-2.890	-2.595	-1.945	-1.614
Dlog CEETp	3	-9.227	-2.595	-1.945	-1.614
Dlog GEETp	3	-12.607	-2.595	-1.945	-1.614
Dlog EEEp	3	-11.399	-2.595	-1.945	-1.614
Dlog IEEp	3	-8.144	-2.602	-1.946	-1.613
Dlog PSP	3	-8.913	-2.595	-1.945	-1.614

Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

Apéndice 3. **Resultados de la prueba de causalidad de Granger**

Hipótesis de relación entre las variables			
Hipotesis nula: no causa en el sentido de <i>Granger</i>	Obs	F-Statistic	p-value
Dlog PIBp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog CEETp	75	1.905	0.120
Dlog CEETp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog PIBp		4.627	0.002
Dlog PIBp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog_PSP	75	2.707	0.038
Dlog_PSP no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog PIBp		3.522	0.194
Dlog PIBp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog GEEp	75	2.500	0.051
Dlog GEEp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog PIBp		3.522	0.012
Dlog CEETp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog GEEp	75	1.202	0.318
Dlog GEEp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog CEETp		0.297	0.879
Dlog CEETp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog PSP	75	1.133	0.349
Dlog PSP no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog CEETp		1.191	0.323
Dlog_PSP no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog GEEp	75	2.304	0.068
Dlog GEEp no causa en el sentido de <i>Granger</i> a Dlog_PSP		1.441	0.230

Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.

Apéndice 4. Resumen del marco metodológico aplicado

Metodología aplicada



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Estimación del modelo VAR

Vector Autoregression Estimates
 Date: 10/18/20 Time: 20:22
 Sample (adjusted): 2001Q2 2019Q4
 Included observations: 63 after adjustments
 Standard errors in () & t-statistics in []

	DLOG_CET	DLOG_PR...	CICLO_PIBL	DLOG_PR...
DLOG_CET(-1)	-0.049039 (0.16125) [-0.30412]	-0.237402 (0.12987) [-1.82799]	0.120345 (0.12098) [0.99474]	0.548332 (0.60470) [0.90678]
DLOG_CET(-2)	-0.178547 (0.17281) [-1.03320]	0.122120 (0.13918) [0.87740]	-0.068968 (0.12966) [-0.53192]	-0.824365 (0.64806) [-1.27204]
DLOG_CET(-3)	-0.138311 (0.17152) [-0.80639]	-0.134417 (0.13814) [-0.97302]	0.220951 (0.12869) [1.71694]	-0.428554 (0.64322) [-0.66626]
DLOG_CET(-4)	-0.072747 (0.17361) [-0.41904]	0.197802 (0.13983) [1.41463]	0.197176 (0.13025) [1.51377]	0.555659 (0.65105) [0.85348]
DLOG_PRODUCCIO...	-0.080522 (0.22750) [-0.35394]	-0.336097 (0.18324) [-1.83422]	0.015477 (0.17069) [0.09067]	-0.689151 (0.85318) [-0.80775]
DLOG_PRODUCCIO...	0.050449 (0.23307) [0.21646]	-0.301542 (0.18772) [-1.60638]	0.091618 (0.17487) [0.52393]	0.083525 (0.87403) [0.09556]
DLOG_PRODUCCIO...	-0.051930 (0.23761) [-0.21855]	-0.066866 (0.19138) [-0.34939]	0.276538 (0.17828) [1.55115]	0.967096 (0.89109) [1.08529]

Continuación apéndice 5.

DLOG_PRODUCIO...	0.069463 (0.19196) [0.36187]	-0.169758 (0.15460) [-1.09801]	0.185129 (0.14402) [1.28542]	-0.491121 (0.71986) [-0.68224]
CICLO_PIBL(-1)	-0.005931 (0.17135) [-0.03461]	-0.323221 (0.13801) [-2.34199]	0.198255 (0.12856) [1.54207]	0.455954 (0.64260) [0.70954]
CICLO_PIBL(-2)	0.015137 (0.18072) [0.08376]	-0.012845 (0.14555) [-0.08825]	-0.109213 (0.13559) [-0.80546]	0.401486 (0.67772) [0.59241]
CICLO_PIBL(-3)	-0.062382 (0.17980) [-0.34695]	-0.070410 (0.14482) [-0.48621]	-0.156960 (0.13490) [-1.16350]	0.097312 (0.67428) [0.14432]
CICLO_PIBL(-4)	-0.197281 (0.17787) [-1.10915]	-0.088000 (0.14326) [-0.61428]	0.616742 (0.13345) [4.62147]	-1.522814 (0.66703) [-2.28298]
DLOG_PRECIOSPOT...	0.015443 (0.03665) [0.42132]	0.014534 (0.02952) [0.49231]	0.047818 (0.02750) [1.73874]	-0.080183 (0.13746) [-0.58332]
DLOG_PRECIOSPOT...	-0.032529 (0.03729) [-0.87224]	-0.007430 (0.03004) [-0.24736]	0.035167 (0.02798) [1.25682]	-0.250814 (0.13986) [-1.79336]
DLOG_PRECIOSPOT...	-0.048928 (0.03886) [-1.25921]	-0.023382 (0.03130) [-0.74714]	0.022400 (0.02915) [0.76833]	-0.118801 (0.14572) [-0.81528]
DLOG_PRECIOSPOT...	0.000116 (0.04071) [0.00285]	-0.000958 (0.03279) [-0.02921]	-0.043192 (0.03054) [-1.41420]	-0.063381 (0.15266) [-0.41519]
C	0.014541 (0.00710) [2.04741]	0.012627 (0.00572) [2.20737]	-0.007561 (0.00533) [-1.41888]	0.003970 (0.02663) [0.14905]
DLOG_EX	-0.006611 (0.03019) [-0.21898]	0.000663 (0.02432) [0.02725]	0.006054 (0.02265) [0.26726]	-0.116224 (0.11322) [-1.02654]
DLOG_IMP	0.039034 (0.02322) [1.68090]	0.012502 (0.01870) [0.66845]	-0.010232 (0.01742) [-0.58729]	-0.034621 (0.08709) [-0.39755]
R-squared	0.460022	0.501711	0.627774	0.532847
Adj. R-squared	0.239122	0.297866	0.475500	0.341739
Sum sq. resids	0.101082	0.065572	0.056902	1.421579
S.E. equation	0.047930	0.038604	0.035962	0.179746
F-statistic	2.082490	2.461232	4.122658	2.788199
Log likelihood	113.3082	126.9408	131.4079	30.03491
Akaike AIC	-2.993910	-3.426692	-3.568503	-0.350315
Schwarz SC	-2.347568	-2.780350	-2.922161	0.296028
Mean dependent	0.010043	0.006745	-0.000546	-0.000736
S.D. dependent	0.054948	0.046070	0.049655	0.221544
Determinant resid covariance (dof adj.)		8.21E-11		
Determinant resid covariance		1.95E-11		
Log likelihood		419.1755		
Akaike information criterion		-10.89446		
Schwarz criterion		-8.309090		
Number of coefficients		76		

Fuente: elaboración propia, empleando Eviews.